

Resum

Davant l'augment progressiu de la sequera, una de les moltes conseqüències del canvi climàtic, es fa necessari arreu del món enginyar noves maneres d'aconseguir aigua el més eficient i ecològicament possible.

A més, atenent al fet que els rius cada cop porten menys aigua, l'explotació d'aqüífers per a tal propòsit va agafant força dia rere dia, si bé hi ha països sud-americans que ja fa molts anys que els aprofiten.

El fet que una font d'aigua subterrània es pugui descobrir en qualsevol indret, fa que sovint no es disposi d'una xarxa elèctrica propera per bombejar aigua de forma automatitzada. Aquí entren en joc les energies renovables, capaces d'oferir solucions a aquesta problemàtica ja que el Sol, el vent o l'energia geotèrmica per exemple, es troben presents, en menor o major mesura, a tot arreu.

En el present projecte, i després d'un anàlisi de conceptes bàsics, es confecciona una eina de dimensionament detallada a través de la qual l'usuari pot trobar una ajuda o guia important a l'hora de dissenyar un sistema de bombeig fotovoltaic.

El fet que les instal·lacions fotovoltaiques són modulars, ràpides de muntar, totalment ecològiques, gairebé no precisen de manteniment, són silencioses, funcionen sense combustible i tenen una llarga vida útil; són característiques totalment decisives en l'elecció de l'energia font del sistema.





Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	5
2. PREFACI	7
3. INTRODUCCIÓ	9
3.1. Objectius del projecte	9
3.2. Abast del projecte	9
4. ESTAT DE L'ART	11
4.1. Bombeig manual	11
4.2. Bombeig fotovoltaic	14
4.3. Energia Eòlica	16
4.3.1. Molí de vent	16
4.3.2. Aerogenerador elèctric	18
4.4. Diesel (grup electrogen)	19
5. ANÀLISI DELS SISTEMES DE BOMBEIG FOTOVOLTAIC	21
5.1. Sistema global	21
5.2. Energia en sistemes de bombeig	24
5.2.1. Aigües subterrànies	25
5.2.2. Captació	25
5.2.3. Demanda de pressió	27
5.2.4. Demanda consum d'aigua	29
5.3. Generació fotovoltaica	30
5.3.1. Radiació solar	30
5.3.2. Efecte fotovoltaic	34
5.3.3. Associació d'elements	37
5.3.4. Pèrdues energètiques FV	39
5.4. Condicionament de potència	40
5.5. Grup motor – bomba	42
5.5.1. Motor	42
5.5.2. Bomba	44
5.6. Emmagatzematge	51



5.7.	Acoblament entre subsistemes i configuracions habituals	52
5.8.	Tipologia d'avaries	55
5.9.	Viabilitat.....	56
6.	EINA DE DIMENSIONAMENT D'INSTAL·LACIONS DE BOMBEIG FOTOVOLTAIC AÏLLADES	61
6.1.	Consideracions inicials	61
6.2.	<i>Software</i> existent	62
6.3.	Requeriments.....	62
6.4.	Mercat objectiu.....	64
6.5.	Eina.....	65
6.5.1.	Ruta	65
6.5.2.	Consum	65
6.5.3.	Indret i HSP.....	67
6.5.4.	Prova bombeig.....	72
6.5.5.	PB_SÍ.....	74
6.5.6.	PB_NO.....	76
6.5.7.	Canonades	77
6.5.8.	Bomba	82
6.5.9.	Mòdul FV	86
6.5.10.	Resum	90
6.5.11.	Dades Mestres.....	91
7.	ESTUDI ECONÒMIC	93
8.	IMPACTE MEDIAMBIENTAL	97
	CONCLUSIONS	99
	AGRAÏMENTS	101
	BIBLIOGRAFIA	103
8.1.	Referències bibliogràfiques.....	103
8.2.	Bibliografia complementària.....	104
	ANNEX A. ESTACIONALITAT DELS CONSUMS D'AIGUA.....	105
	ANNEX B. CÀRREGA DINÀMICA EN CANONADES DE L'EINA.....	107
	ANNEX C. LLISTAT RESUM DE METODOLOGIA DE L'EINA.....	113



1. Glossari

FV (Fotovoltaic): Sempre que les sigles FV apareguin al llarg de la memòria, es referiran al concepte de Fotovoltaic, és a dir a la conversió d'energia lluminosa en electricitat.

HSP: Hora Solar Pic. És una unitat que mesura la irradiació solar i es defineix com el temps diari en hores d'una hipotètica irradiació solar constant de 1000 W/m^2 [$1 \text{ HSP} = 1 \text{ kWh/m}^2$].

Wp (Watt – pic): és la unitat de mesura de potència que entrega una cel·la o un mòdul fotovoltaic sota condicions estàndard de mesura (STC, 1000 W/m^2 i 25°C).

SPMP (Seguiment del Punt de Màxima Potència): dispositiu electrònic d'un sistema de bombeig FV encarregat d'assegurar un màxim d'intercanvi d'energia entre generador i càrrega situant el punt de treball en el punt de màxima potència del generador.

CDT (Càrrega Dinàmica Total): és la pressió efectiva contra la que la bomba ha de funcionar.

Radiació Solar: Energia procedent del Sol en forma d'ones electromagnètiques.

Irradiància [W/m^2]: Densitat de potència incident en una superfície o la energia incident en una superfície per unitat de temps i unitat de superfície.

Irradiació [MJ/m^2 o kWh/m^2]: Energia incident en una superfície per unitat de superfície i al llarg d'un cert període de temps.

Cèl·lula solar: és el dispositiu que transforma la radiació solar en energia elèctrica.

Densitat (ρ): magnitud referida a la quantitat de massa continguda en un determinat volum [$\rho_{\text{aigua}}(T^{\text{a}}_{\text{ambient}}) = 1000 \text{ kg/m}^3$].

Gravetat (g): constant que indica l'acceleració de la gravetat del planeta Terra [$g=9,81 \text{ m/s}^2$].

Metre de Columna d'Aigua [m.c.a.]: És una unitat de pressió i equival a la pressió exercida per una columna d'aigua pura d'un metre d'altura.



Altura (H): en el projecte s'entén com *Altura hidràulica*, i és la càrrega de pressió que exerceix l'aigua pel seu propi pes. L'utilitzen els fabricants de bombes per indicar l'altura a la qual pot bombejar una bomba.

Cabal (Q): volum de líquid elevat per una bomba per unitat de temps; és independent del pes específic i variable al bombejar líquids de viscositat superior a la de l'aigua. Normalment, a nivells de bombeig d'aigua s'expressa en unitats de m^3/h .

Estacionalitat: l'estacionalitat aplicada al cas del bombeig hidràulic, és la concentració de la demanda d'aigua, de manera desproporcionada, en certs períodes de l'any

Dades Mestres: conjunt de dades o variables externes i fixades d'un programa informàtic. Són tractades internament pel programa i poden modificar-se per un *Administrador*.

Administrador: l'*Administrador* d'un programa software és qui té el dret de controlar-ne internament les dades mestres i gestionar altres tipus de privilegis.



2. Prefaci

L'escassetat d'aigua al planeta afecta ja a tots els continents. Prop d'una cinquena part de la població mundial viu en àrees de falta física d'aigua. Hi ha molts països subdesenvolupats que no disposen de la infraestructura necessària per extreure-la de rius, llacs i aqüífers.

L'existència del projecte rau en la necessitat d'abastir zones on no hi ha aigua potable en superfície, però sí en aqüífers. Sovint, en aquests indrets no es disposa d'energia elèctrica i es fa inevitable buscar solucions.

En aquest context, cal elaborar una eina per dimensionar el més acuradament possible sistemes de bombeig d'aigua.

Aprofitant el fet que la energia solar és present en qualsevol lloc del món i presenta unes característiques adients pels requeriments donats, l'eina ofereix solucions i ajuda per dissenyar, concretament, sistemes fotovoltaics aplicats al bombeig hidràulic.

Aquest projecte s'ha realitzat en el marc d'un projecte de cooperació al desenvolupament amb el CCD – UPC.





3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

Que qualsevol usuari que ho desitgi o ho necessiti sigui capaç de dimensionar de forma senzilla i clara sistemes de bombeig d'aigua fotovoltaic; amb un assoliment previ de conceptes bàsics.

3.2. Abast del projecte

Estudi de l'art de les solucions existents al mercat actual.

Visió general dels components dels sistemes de bombeig fotovoltaic i les seves respectives funcions i/o característiques essencials.

Combinar la metodologia d'aquestes solucions i oferir un plantejament de disseny nou i únic. Dissenyar una eina de dimensionament o programa informàtic d'ajuda per usuaris.

Anàlisi/comparació de situacions de dimensionament d'instal·lacions mitjançant l'eina elaborada.





4. Estat de l'art

Per conèixer la situació actual del bombeig d'aigua de pous o aqüífers, convé diferenciar entre quatre formes diferents d'obtenir la potència necessària per a l'extracció: bombeig manual, bombeig FV, bombeig eòlic i Diesel (grup electrogen).

En aquest apartat es fa referència als elements o sistemes relacionats directament amb el bombeig d'aigua.

4.1. Bombeig manual

Per bombeig manual, s'entén extracció d'aigua gràcies a un esforç humà més o menys important.

A continuació s'explica el funcionament de tres tipus de bomba manual o, més ben dit, de tres formes diferents d'extracció d'aigua gràcies a l'esforç humà.

4.1.1. Extracció amb cubells

Antigament l'aigua s'extreia dels pous mitjançant un cubell lligat a una corda. El procés d'extracció de l'aigua és tan senzill com sembla: una persona deixa caure dins del pou la corda amb el cubell al seu extrem fins que aquest s'omple d'aigua; acte seguit i fent força, s'estira la corda fins que el cubell arriba a la part superior del pou. Ja es té aigua.

Encara que sembli massa senzill, pot considerar un sistema de bombeig, ja que es pot calcular un cabal bombejat a una altura determinada. No cal dir que tant cabal com altura són més aviat reduïts.

Per exemple, si una persona omple un cubell de 8 litres i entre que fa la operació, el transporta i el buida al lloc on correspongui passen 2 minuts, s'aconsegueix un cabal ínfim de 4 litres per minut.



4.1.2. Bomba aspirant

Les bombes aspirants són les típiques bombes accionades manualment. Consten d'un cilindre buit, anomenat *cos de la bomba* que és recorregut amb fregament suau per un pistó, i hi ha tubs per l'entrada i sortida del líquid amb les seves vàlvules corresponents.

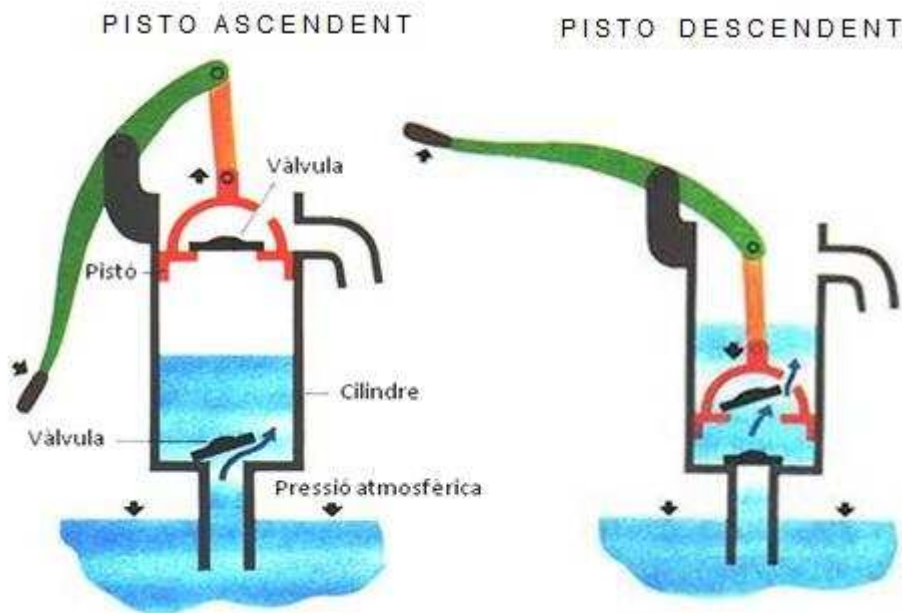


Fig. 4.1. Dibuix que escenifica el bombeig d'aigua gràcies pistó d'una *bomba aspirant*. [Font: Documentos Técnicos Sapiens]

Quan s'acciona la manovella de la bomba aspirant, el pistó puja. Això fa augmentar el volum sota el pistó i la pressió disminueix. Llavors l'aigua puja per un tub superant una vàlvula antiretorn que deixa passar-la únicament en el sentit ascendent. Aprofitant aquesta diferència de pressions de forma cíclica, anem traient el líquid de forma intermitent (Fig. 4.1).

Tot i tenir un manteniment bastant senzill i una bona durabilitat, no pot mantenir un raig continu d'aigua ni fer-la pujar a través d'una distància major a 10 metres. Això últim és perquè la pressió atmosfèrica és exactament equivalent a 10 metres de columna d'aigua (m.c.a.). El cabal extret depèn de l'esforç humà i del volum del cilindre, però pot arribar al voltant dels 150 litres per minut.



Hi ha altres tipus de bombes manuals que segueixen el mateix principi que la bomba aspirant però amb algunes variacions: bomba d'acció directa, bomba de diafragma, bomba India Mark II, bomba Flexi-OPS, bomba Heuser, bomba Wisconsin.

4.1.3. Bomba de sogà o bomba *mecate*

Una sogà, que és una corda gruixuda, un cubell i una politja. Aquests són els components que permeten a l'ésser humà elevar aigua amb un cost energètic ínfim, simplement una mica d'esforç manual.

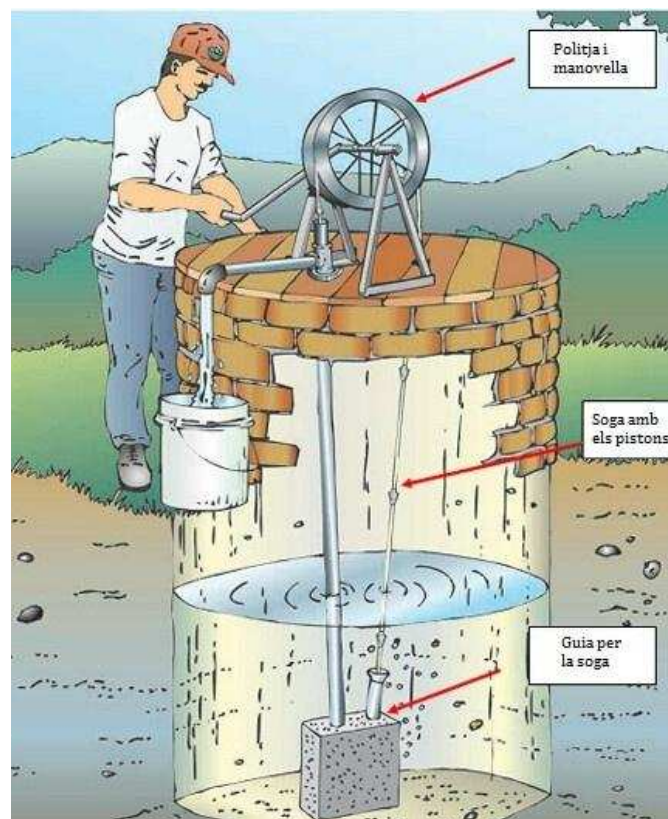


Fig. 4.2. Dibuix que esquematitza amb claredat el funcionament de la *bomba de sogà*. [Font: PROINDER]

La sogà porta uns pistons, generalment de goma, i llisca per un tub de baixada cap al pou per dirigir-se a una petita estructura de formigó que canalitza la sogà amb els pistons. Després de passar pel formigó, els pistons recullen aigua del pou i la transporten fins a la



politja, que es troba a l'exterior. Aquesta politja és accionada manualment gràcies a una manovella i es repeteix el circuit explicat de forma cíclica. En aquest recorregut, els pistons deixen l'aigua que porten del pou en un dipòsit i tornen a baixar buits per tornar a recollir aigua (Fig 4.2).

La bomba de soga permet bombejar aigua de fins a 40 metres de profunditat i es poden aconseguir cabals de 100 litres per minut.

És difícil d'imaginar un dispositiu que aconsegueixi satisfer amb tanta senzillesa i eficàcia aquesta vital necessitat humana.

Tot i ser un mecanisme que mai arriba a la perfecció pel fet que cadascú el munta com vol, és 100% sostenible i sedueix des de fa molt de temps. És una evolució de sistemes de bombeig que es remunten segles enrere i, actualment, s'utilitza molt a Sud Amèrica i a alguns països africans.

4.2. Bombeig fotovoltaic

Pel bombeig fotovoltaic es necessiten varis elements (Fig. 4.3). Primer un mòdul fotovoltaic que s'encarrega de transformar l'energia en forma de llum en electricitat. Després uns condicionadors de potència que adequen el corrent continu provinent del generador a les necessitats del conjunt motor – bomba. Allà, l'electricitat es converteix en energia mecànica (motor) i aquesta en energia potencial en forma d'alçada de bombeig (bomba).



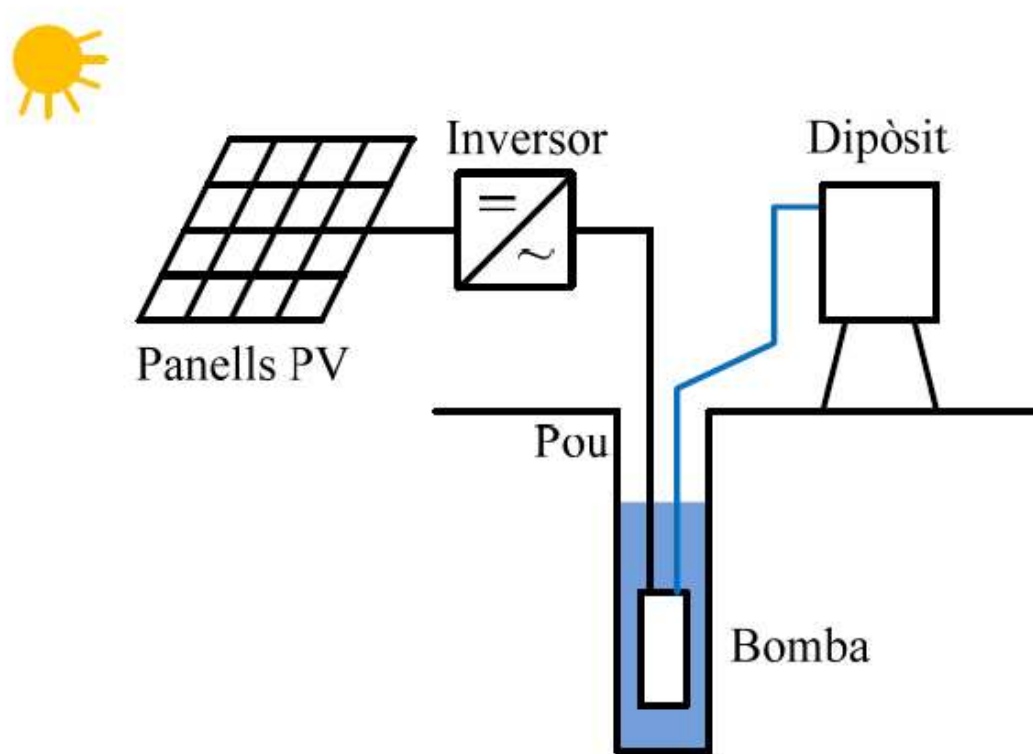


Fig. 4.3. Dibuix esquemàtic senzill però molt clar dels principals elements d'un sistema de bombeig FV.

Tot i que els principals avenços en el camp de l'energia fotovoltaica es varen fer en els anys 1940 quan es va desenvolupar el procés Czochralski per produir silici monocristalí d'alta puresa, no ha estat fins els últims 30 anys quan el creixement d'instal·lacions de sistemes fotovoltaics ha augmentat molt ràpidament.

Els mòduls fotovoltaics actuals tenen rendiments del 7 % al 17 %, són altament fiables, i amb una vida estimada de 30 anys. Costen al voltant de 3,5 – 4 € el Wp i produeixen electricitat a costos que oscil·len entre 0,2 – 0,5 €/kWh, uns costos que estan en decreixement continu [1].

Dels aparells de condicionament de potència que s'utilitzen en l'actualitat en destaquen els inversors, que poden tenir SPMP incorporat, els reguladors electrònics i els variadors de freqüència.



En l'actualitat hi ha dues maneres d'emmagatzemar l'energia de bombeig hidràulic fotovoltaic. Una és l'ús de bateries que emmagatzemen electricitat; l'altra és la d'acumular l'aigua bombejada en un dipòsit. Es poden combinar ambdues.

Malgrat l'evident onada d'expansió d'aquesta energia, els avenços palpables estan un pèl estancats, i és que l'única part millorable és la tecnologia de fabricació i els materials que componen la cèl·lula solar, i això queda supeditat als nous desenvolupaments tecnològics o invencions. S'estan proposant noves cèl·lules solars basades en materials que no estan disponibles de moment, però teòricament explicables, com les cèl·lules de punts quàntics amb estructures de bandes intermèdies, que podrien arribar a rendiments de fins el 46 %.

4.3. Energia Eòlica

En els sistemes de bombeig eòlic, hi ha dues maneres de provocar l'extracció d'aigua: mitjançant un molí de vent i mitjançant un aerogenerador.

4.3.1. Molí de vent

Directament gràcies a un molí amb accionament mecànic d'una bomba aspirant o de pistó. En aquest cas no hi intervé cap motor.

Un rotor amb 12-24 pales capta la potència del vent i mou una bomba de pistó a través d'una barra vertical (Fig. 4.4). El pistó bombeja l'aigua creant depressions, com en el cas de la bomba aspirant de l'apartat 4.1.2. L'acoblament entre rotor i barra es realitza mitjançant un mecanisme de biela i manovella, amb reducció a través d'engranatges. La caixa reductora fa la màquina més versàtil i l'adequa per bombejar aigua des de grans profunditats.



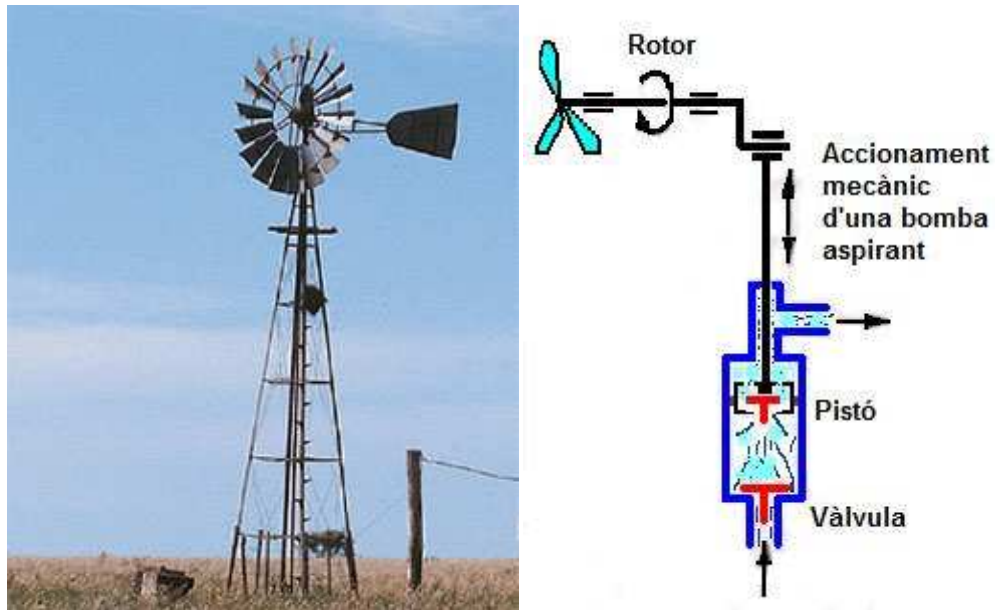


Fig. 4.4. Fotografia i representació esquemàtica del funcionament d'un molí de vent sense engranatges. [Font: Wikipedia]

Avantatges

- La caixa reductora fa la màquina més *versàtil* i l'adequa per bombejar aigua des de grans profunditats.
- La baixa velocitat de treball fa la màquina més *fiable* per haver-hi menys desgast per fricció dels elements de la bomba, a més de disminuir ruptures per fatiga.
- Tot i que l'oli dels engranatges cal ser revisat periòdicament, el *manteniment* n'és mínim.
- Poden instal·lar-se en llocs amb baixes velocitats mitjanes anuals de vent.

Inconvenients

- L'alt parell que necessita la bomba, cosa que fa que la construcció sigui ben pesada.
- Tecnologia difícil de reproduir en països subdesenvolupats.
- Poca resistència a la pols i arena, que penetren dins el mecanisme de transmissió.



- El molí ha d'estar tocant al pou, és a dir no hi ha *flexibilitat* en quant a zona d'instal·lació.
- Eficiència general baixa.

4.3.2. Aerogenerador elèctric

En un aerogenerador, la energia cinètica de l'aire (vent) proporciona energia mecànica a un rotor hèlix que, a través d'un sistema de transmissió mecànic, fa girar el rotor d'un *alternador* (Fig.4.5). L'alternador converteix l'energia mecànica rotacional en energia elèctrica.

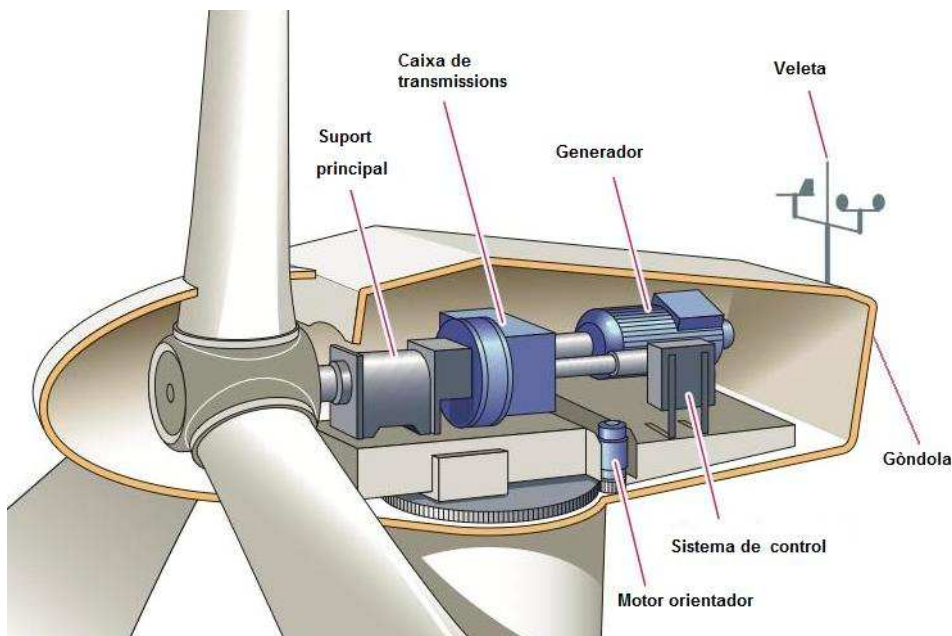


Fig. 4.5. Elements existents en l'interior d'un aerogenerador.

[Font: Energía DOBLECERO]

Aplicant-ho al bombeig hidràulic, i de la mateixa manera que en el bombeig fotovoltaic, aquesta energia elèctrica s'aprofita per fer funcionar un grup motor – bomba que s'encarregarà de l'abastiment d'aigua a través de les canonades pertinents.



4.4. Diesel (grup electrogen)

Un grup electrogen és una màquina que mou un *alternador* també, com en el cas dels aerogeneradors. En aquest cas però, el moviment rotacional del rotor de l'alternador s'aconsegueix gràcies a un motor de combustió.

A continuació s'explica breu i ràpidament el funcionament dels grups electrògens quan s'utilitzen per treure aigua de pous:

El motor de combustió genera energia mecànica rotacional precisant aportació de combustible Diesel (també pot ser de gasolina). L'alternador transforma aquest moviment en electricitat. Aquesta electricitat que surt del grup electrogen proporciona potència a un grup motor – bomba per bombejar aigua (Fig. 4.6).

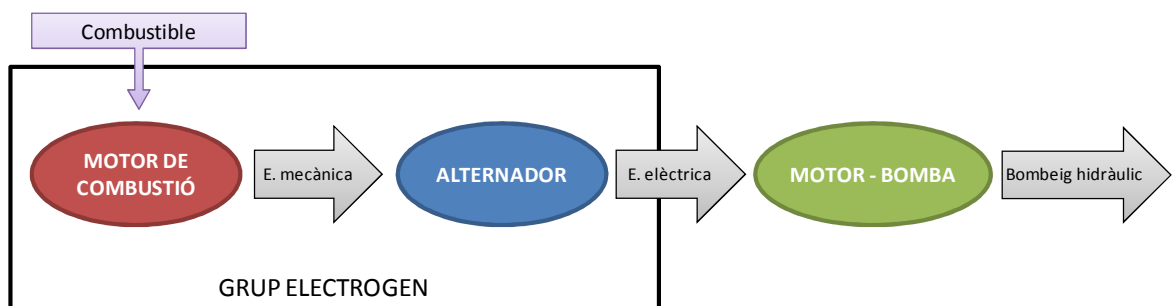


Fig. 4.6. Diagrama de blocs d'intercanvis d'energia entre elements d'un grup electrogen.

Vistos els funcionaments i tendències de les diferents formes de bombejar aigua de pous, la millor manera d'analitzar globalment les característiques i fets diferencials entre aquestes és la confecció de la següent taula (Taula 4.1):



Font de potència	Avantatges	Desavantatges	Abast
Manual	No contamina Sistema autònom Cost inicial assequible Instal·lació senzilla No necessita alimentació	Cabals baixos Manteniment regular Poca flexibilitat Cost mà d'obra	Zones aïllades o no Potència baixa
Solar Fotovoltaica	Energia renovable Manteniment senzill Llarga vida útil Fiable Instal·lació senzilla Sistema autònom	Tecnologia cara Depèn de meteorologia	Zones aïllades o no Potència mitjana
Eòlica	Energia renovable Sistema autònom Gran potència	Obra de gran envergadura Manteniment regular Estudi previ Depèn de meteorologia	Zones aïllades o no Potència mitjana – gran
Combustió Diesel	Tecnologia coneguda Cost inicial assequible Instal·lació senzilla Portàtil	Contamina Molt sorollós Manteniment regular Cost combustible Transport combustible	Zones aïllades Potència gran

Taula 4.1. Taula comparativa entre les diferents formes d'obtenir l'energia necessària pel bombeig hidràulic.

Assumint una generació de potència mitjana i una elevada inversió inicial, que és el cas del present projecte, l'ús d'*instal·lacions de generació d'energia solar fotovoltaica* com a generador de potència és el més adequat pel fet de ser una energia renovable, fiable, tenir uns components de llarga vida útil i no requerir gairebé manteniment com a avantatges decisives.



5. Anàlisi dels sistemes de bombeig fotovoltaic

5.1. Sistema global

El bombeig d'aigua a petita escala és una aplicació de molta transcendència a tot el món; té un especial impacte en comunitats rurals on no hi ha subministrament elèctric convencional.

Els sistemes de bombeig FV es caracteritzen per ser molt fiables, de llarga durada i mínim manteniment, aspectes que el fan atractiu a llarg termini en comparació amb les alternatives.

Per més inri, no requereix el treball de cap empleat ni operador, i té un baix cost ambiental, doncs no contamina ni l'aire ni l'aigua que bombeja i no fa soroll.

Un altre avantatge és que els sistemes són modulars, de manera que poden adequar-se per satisfer les necessitats específiques de l'usuari en qualsevol moment.

Elements

Cinc són els elements físics més importants participants en el projecte.

- Generador FV
- Convertidor (adaptador de potència)
- Motor
- Bomba
- Dipòsit

En la Fig. 5.1 es veu un exemple d'instal·lació de bombeig fotovoltaic típica amb els components clarament diferenciats.



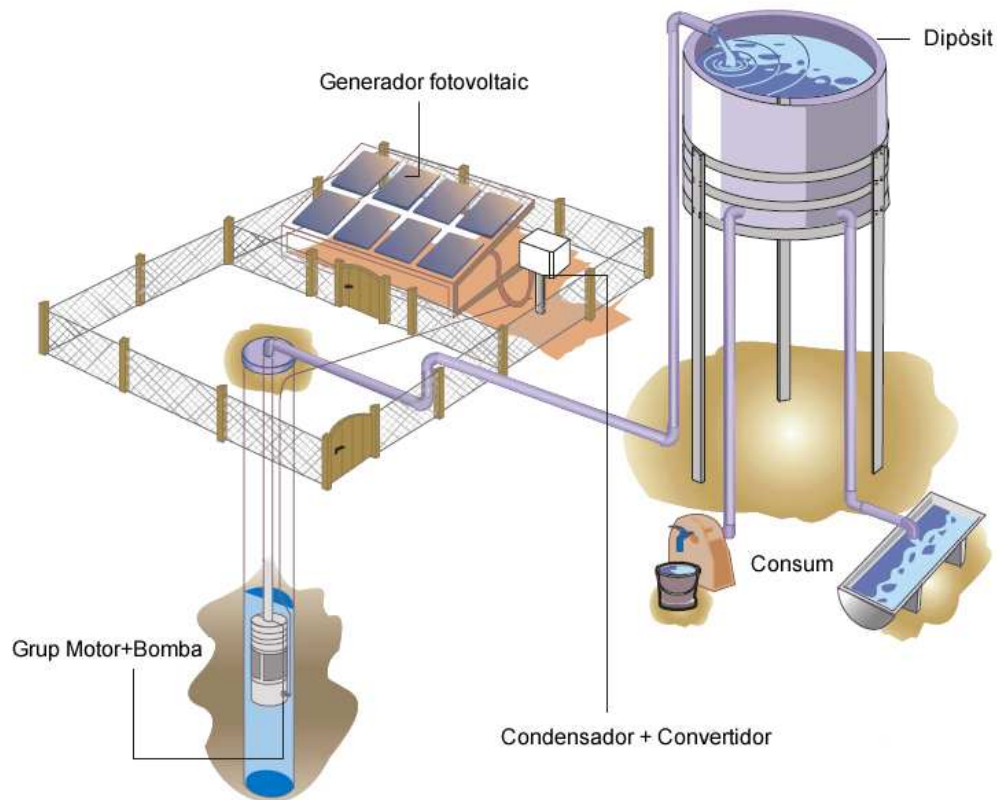


Fig 5.1. Instal·lació de bombeig fotovoltaic aplicada al consum humà i animal. [Font [2]]

Al llarg dels següents apartats se'n coneixen les principals característiques.

També convé mencionar que el sistema té altres elements físics de menor importància com són el cablejat elèctric que transporta l'energia elèctrica, les canonades que transporten l'aigua i les seves vàlvules o elements que comporten.

Potències

Entre els cinc elements d'aquest projecte hi ha associat un intercanvi de potències (Fig. 5.2) que, amb l'ajuda d'equacions i rendiments pertinents, es poden calcular per conèixer quins ens convé dins del mercat existent.



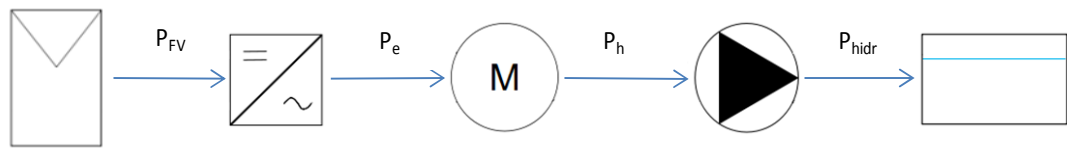


Fig 5.2. Representació esquemàtica de les potències que relacionen els diferents elements del sistema.

En l'eina de dimensionament presentada en l'apartat 6 del projecte apareixen les equacions mencionades i les variables que hi intervenen.

Transformació energètica

Un dels aspectes més atractius d'aquest projecte des del punt de vista de l'enginyeria, és la gran quantitat d'intercanvis d'energia que hi ha.

Fins a tres transformacions d'energia, i quatre tipus d'energia participants (Fig. 5.3). El mòdul fotovoltaic, el motor i la bomba són els elements que duen a terme aquestes transformacions. Gràcies a això, es pot obtenir energia potencial en forma d'augment de la pressió de l'aigua amb l'energia del Sol.



Fig 5.3. Representació esquemàtica la transferència d'energia entre els diferents elements del sistema.

Com es veu anteriorment en aquest mateix apartat 5.1, el sistema estudiat té dos components més: adaptació elèctrica (convertidor) i dipòsit. Són importants però en ells no s'hi duu a terme cap transformació energètica.



Instal·lació

Tot i ser un sistema que no requereix d'empleats, la disponibilitat de servei professional a la regió és important, ja que una instal·lació de bombeig solar s'ha de dur a terme per personal qualificat. A més, és important que l'instal·lador sigui fàcilment localitzable en cas de requerir els seus serveis. Proveïdor i instal·lador hauran de demostrar la seva experiència, capacitat tècnica i solvència moral. És bàsic tenir en compte els següents aspectes:

- L'acceptació dels usuaris d'una tecnologia relativament nova i desconeguda. Han d'entendre la capacitat, limitacions, avantatges, requisits de manteniment i principis d'operació d'aquests sistemes.
- Vigilància adequada. La naturalesa i portabilitat d'aquests sistemes de bombeig solar els fan ideals per aplicacions remotes i desateses, però també els fan vulnerables a robatoris i vandalisme.
- Impacte ambiental. L'energia solar i la seva tecnologia no contaminen ni fan soroll ni molesten a ningú. És un aspecte de gran valor per molts usuaris.

5.2. Energia en sistemes de bombeig

Per a que un sistema de bombeig pugui ser dissenyat convenientment es necessita saber les dades físiques d'altura de bombeig i del consum d'aigua per part de l'usuari (Eq. 5.1).

$$\text{Potència hidràulica } [P_h] = \rho g Q H [W] \quad (5.1)$$

A continuació s'expliquen les principals característiques dels pous i formes d'obtenir l'altura o pressió i cabal a les que ha de fer front la bomba.



5.2.1. Aigües subterrànies

Les aigües subterrànies són aquelles que circulen a través de les cavitats o porus del terreny, sota la seva superfície, i que tenen unes característiques físiques i químiques pròpies, les quals són transmeses pel seu contacte amb les roques a través de les que circulen.

Tenen el seu origen en la infiltració directa de les pluges en el terreny o de la infiltració indirecta dels rius i llacs.

Aqüífer

Un aqüífer és una formació geològica permeable que permet la circulació i emmagatzematge d'aquesta aigua subterrània pels seus porus o esquerdes. Per a que es formi un aqüífer es necessari que hi hagi l'*alimentació* suficient en forma d'infiltracions i *condicions geològiques favorables*.

5.2.2. Captació

Les *formes de captació* són totes aquelles obres construïdes amb la finalitat d'extreure l'aigua continguda en un dipòsit subterrani. Consisteixen en realitzar una excavació al terra, les dimensions de la qual depenen de la profunditat a la que es trobi la capa que conté aigua (aquífer). El fons de l'excavació ha d'estar per sota del nivell de l'aigua i de les parets en contacte amb l'aqüífer.

En les obres de captació el que més interessa és treure els màxims volums d'aigua que l'aqüífer permeti. Perquè les obres tinguin més contacte amb l'aqüífer, cal incrementar les dimensions de l'excavació. Segons si són incrementades les dimensions horitzontals o les verticals, les obres es classifiquen en:

- Galeries filtrants.

Quan són incrementades les dimensions horitzontals, és a dir, les obres tenen un contacte horitzontal amb l'aqüífer. Entre elles es troben les rases. El seu ús s'aconsella en zones de perill de contaminació marina. També els túnels i drenatges constitueixen galeries filtrants.



- Pous.

L'obra de captació s'anomena pou quan s'incrementa el contacte vertical de l'excavació amb l'aqüífer. En aquest cas, l'obra és un forat vertical.

Entre els diferents tipus de pous, tenim els següents:

- Pous excavats.

Són poc profunds i s'excaven generalment a mà, normalment de diàmetre de 1,5 a 3 metres. La profunditat és variable, depenent de la profunditat de l'aqüífer, però sol estar entre 8 i 10 metres.

- Pous profunds o tubulars.

Són els més utilitzats en l'actualitat. Es poden construir a mà o amb màquines perforadores, aquestes últimes poden ser rotatòries o percussores. En la següent taula (Taula 5.1) es tenen els diàmetres més comuns per aquest tipus de pous.

Tipus pou	Diàmetre (cm)
Manual	10 – 15
Amb excavadores percussores	25 – 40
Amb excavadores rotatòries	10 – 20

Taula 5.1. Diàmetres aproximats dels pous depenent de quina tecnologia s'utilitza per construir-lo [3].

Capacitat potencial del pou

És la propietat que té un pou per entregar un cabal determinat sense produir un descens excessiu del nivell de l'aigua. Depèn del nivell estàtic de l'aigua, de la corba de depressió de la superfície de l'aigua, de la permeabilitat del terreny i de la profunditat i diàmetre del pou.



5.2.3. Demanda de pressió

Càrrega Dinàmica Total

La càrrega dinàmica total (d'ara en endavant CDT) és la pressió efectiva contra la que la bomba ha de funcionar. Està expressada en metres, i també s'anomena altura de la bomba. Per a més practicitat es suposa que la pressió en la fosa de bomba o fosa interior (al pou) és igual a la pressió predominant al dipòsit receptor o superior. Això ho considerem així donat que la diferència de la pressió atmosfèrica entre un dipòsit receptor col·locat per exemple 100 metres per damunt de la fosa de la bomba és únicament de 0,001 bar o 0,01 m.c.a.

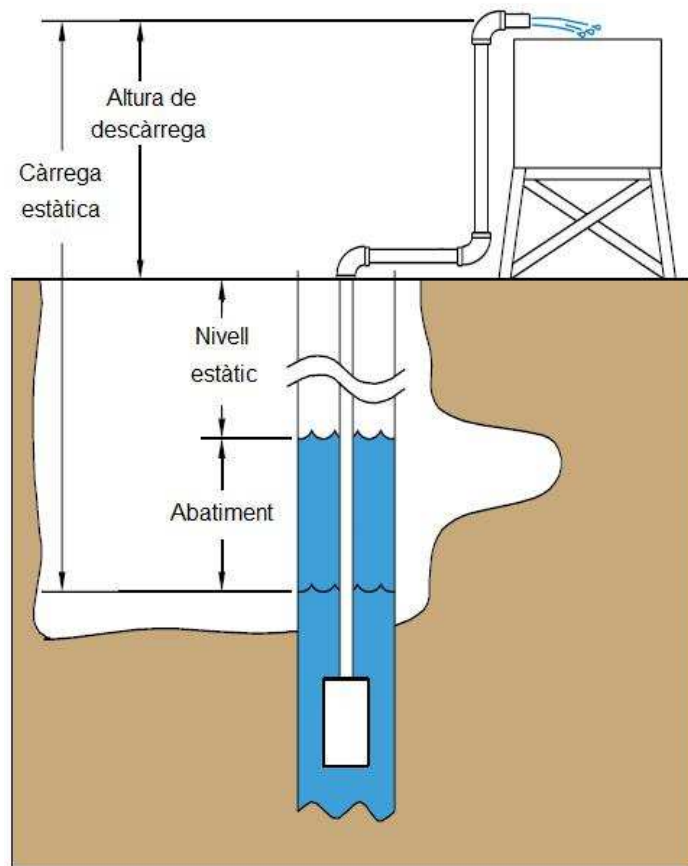


Fig 5.4. Dibuix del bombeig hidràulic i les nomenclatures de nivells d'altura



La CDT és la suma de tres factors (Fig. 5.4).

- Càrrega Estàtica.

Distància geomètrica des del nivell de l'aigua en el pou fins el punt més elevat, fins on ha de ser bombejada. Es podria dividir en dos conceptes diferents (Eq. 5.2):

$$\text{Càrrega estàtica [m]} = \text{Nivell estàtic [m]} + \text{Altura descàrrega [m]} \quad (5.2)$$

- Càrrega Dinàmica.

És resultat de la caiguda de pressió quan un líquid circula per l'interior d'una canonada (fricció). Aquestes pèrdues de càrrega depenen de:

- Longitud canonada.
- Diàmetre interior canonada.
- Velocitat flux.
- Rugositat relativa de la paret de la canonada (material).
- Viscositat cinemàtica del líquid.

La càrrega dinàmica té dues components diferenciades depenent del perquè es produeix la fricció, d'una banda pèrdues lineals mentre l'aigua recorre la canonada, i de l'altra pèrdues singulars provocades per elements situats en el circuit hidràulic com poden ser colzes o vàlvules per exemple.

Les equacions per a calcular aquests valors es troben detallades en l'**Annex B** i corresponen a l'eina de dimensionament d'instal·lacions de bombeig FV.



- Abatiment

Quan es bombeja aigua d'un pou, el nivell de l'aigua del seu interior no es manté constant, sinó que varia en funció del cabal bombejat i el temps de bombeig. La diferència entre el nivell en condicions de repòs (Nivell estàtic) i el nivell instantani en unes determinades condicions de bombeig és coneguda com *abatiment*.

L'abatiment d'un pou o un aqüífer és una característica molt important, doncs un que el tingui excessivament gran no podrà ser utilitzat pel bombeig, o tindrà una vida útil curta o, com a mal menor, caldrà veure reduïts els requeriments de demanda diària d'aigua.

Per calcular l'abatiment és recomanable dur a terme una *prova de bombeig* sobre el pou que es vol explotar. El procediment a dur a terme i equacions per determinar els resultats de la prova es troben detallats en l'apartat 6.5.4 de l'eina de dimensionament. L'abatiment es pot considerar com a part de la càrrega estàtica.

5.2.4. Demanda consum d'aigua

Primer que tot cal conèixer el volum d'aigua diari mitjà mensual necessari per satisfer la demanda de consum del sistema a dissenyar. Diferents demandes del present projecte són:

- Aigua per consum humà.
- Aigua per consum d'animals domèstic.
- Aigua per reg de cultius.

És molt important realitzar abans un estudi de la capacitat i abatiment de l'aqüífer, concepte vist anteriorment. També convé analitzar-ne les variacions estacionals de l'aigua per impedir que, en un moment donat, la bomba treballi en buit.

Cal diferenciar entre consum continu i consum estacional. Entre si es necessita l'aigua també de nit o únicament durant el dia. Tots aquests aspectes influeixen en l'elecció de la *mida del dipòsit*, si bé també és important determinar l'autonomia del sistema pel seu càlcul.



De fet, l'autonomia de la instal·lació convé decidir-la de manera acurada ja que sovint hi ha dies ennuvolats o plujosos que faran que el dipòsit no s'ompli normalment.

5.3. Generació fotovoltaica

5.3.1. Radiació solar

Abans d'implantar un sistema fotovoltaic, és necessari conèixer els mapes d'irradiació mensual mitjana de la zona.

Irradiància

La potència de la radiació solar que es rep en un instant donat sobre una superfície determinada es coneix com *Irradiància* i es mesura en W/m^2 . Sota condicions d'atmosfera neta, sense cap procés òptic i estant el Sol en el zenit (zona del cel situada a la vertical de l'observador), la irradiància màxima que un captador solar podria rebre és de 1000 W/m^2 , com a valor promig normalitzat.

Irradiació

La *Irradiació* és el valor acumulat de la irradiància en un temps donat. Si el temps es mesura en hores (h), la irradiació tindrà unitats de Wh/m^2 . Generalment es reporta aquest valor com una acumulació d'energia que pot ser horària, diària, estacional o anual. La irradiació també es pot expressar en termes d'*hores solar pic*, definides a continuació.

Angle d'inclinació β

Angle que forma la superfície dels mòduls amb el pla horitzontal (Fig. 5.5). El seu valor és 0° per mòduls horitzontals i 90° per verticals.



Angle d'azimut α

Angle entre la projecció sobre el pla horitzontal de la norma a la superfície del mòdul i el meridià del lloc geogràfic. Valors típics són 0° per mòduls orientats al sud, -90° per mòduls orientats a l'est i 90° per mòduls orientats a l'oest.

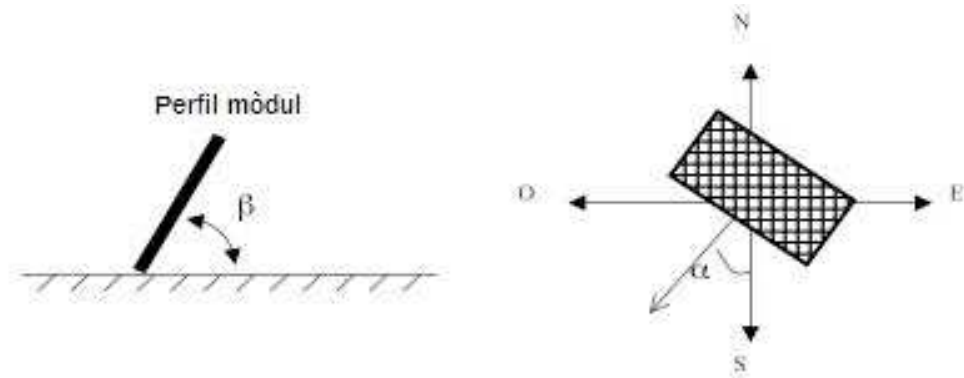


Fig 5.5. Representació gràfica del significat dels angles d'inclinació i d'azimut

Hora Solar Pic (HSP)

És vital parlar del concepte de les hores solar pic en aquest projecte. Gràcies a les HSP, bona part dels càlculs que hi ha al llarg de tota l'eina de dimensionament (apartat 6) han estat possibles.

Definició: l'Hora Solar Pic (HSP) és una unitat que mesura la irradiació solar i es defineix com el temps diari en hores d'una hipotètica irradiació solar constant de 1000 W/m^2 .

Una HSP equival a $3,6 \text{ MJ/m}^2$ o, el que és el mateix, 1 kWh/m^2 .

Si es representa en un gràfic la distribució horària de la irradiació incident sobre la superfície terrestre s'observa que els nivells varien al llarg del dia (Fig. 5.6). La energia per metre quadrat rebuda és l'àrea (A1) que queda per sota d'aquesta corba.



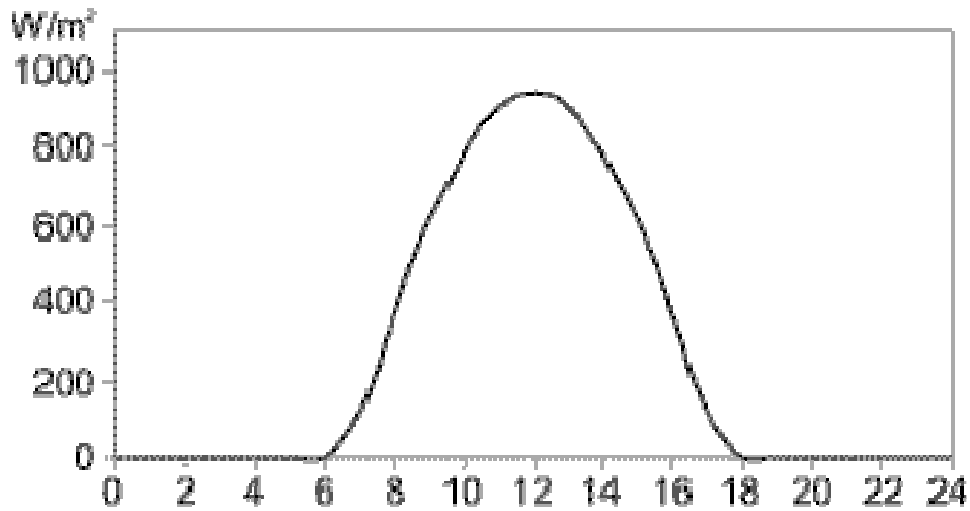


Fig 5.6. Gràfic de representació de la irradiància [W/m^2] al llarg de les hores d'un dia determinat [h]

Per calcular l'àrea (A1) mencionada, cal fer una integració complicada al llarg de les hores del dia. Amb tot i així, i amb l'objectiu de facilitar-ne els càlculs (Fig. 5.7), si es considera un Sol que assoleixi una irradiància constant de $1000 W/m^2$ durant unes certes hores del dia, l'àrea (A2) que quedi per sota d'aquesta nova distribució serà la mateixa que l'àrea (A1).

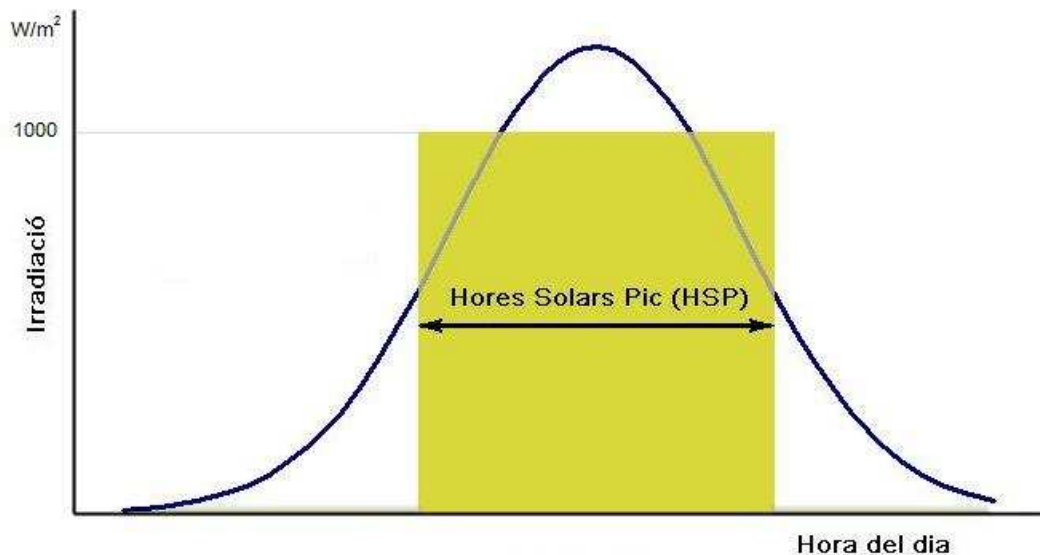


Fig 5.7. Gràfic de representació de la irradiància [W/m^2] i de l'equivalent en HSP al llarg de les hores d'un dia determinat [h]



D'aquesta manera, les Hores Solar Pic són les hores diàries en què tindriem aquests 1000 W/m². A més, com que una HSP són 1kWh/m², si sabem les HSP d'una zona automàticament en sabrem la energia en kWh, que és una unitat més coneguda i utilitzada en el món de l'enginyeria, per metre quadrat. I simplement fent el següent càlcul (Eq. 5.3).

$$Irradiació \left[\frac{kWh}{m^2} \right] = HSP \times 1kWh/m^2 \quad (5.3)$$

Tipus d'atmosfera

L'atmosfera que ens envolta té uns nivells de brutícia variants diàriament. A més, segons la zona geogràfica on el sistema s'implanti, hi poden haver uns nivells d'aquesta brutícia més o menys constants. Com és el cas de zones amb vent, o pròximes a fàbriques, o amb trànsit de vehicles, etc.

En zones muntanyoses l'atmosfera sol ser neta. En llocs on abunda la calitja (partícules molt petites de pols o arena en suspensió en l'atmosfera), contaminació, etc. l'atmosfera sol ser bruta.

Tipus atmosfera	C _{atm}
Neta	1,05
Neutral	1
Bruta	0,95

Taula 5.2. Constant atmosfèrica segons tipus d'atmosfera.

Quan es tenen les HSP cal multiplicar-les per la constant atmosfèrica (C_{atm}) per corregir la radiació inicial. Cada tipus d'atmosfera té una constant atmosfèrica determinada (Taula 5.2).



Factor corrector K

El *factor corrector K* és una constant aplicada sobre el càlcul de la radiació sobre superfícies inclinades. És a dir, aplicat a sistemes FV, com que es tenen tabulats únicament valors de radiació de superfícies horitzontals ($\beta_o = 0^\circ$), a aquesta radiació se li aplica un factor corrector que depèn de la latitud de la zona on s'implanta el sistema, del mes de l'any en què s'està i de la inclinació de la superfície (β).

Existeixen taules en les quals, segons una latitud i inclinació donades, s'aconsegueix el factor corrector K per a cada mes de l'any.

5.3.2. Efecte fotovoltaic

La transformació de la radiació solar en energia elèctrica es realitza mitjançant un dispositiu anomenat *cèl·lula fotovoltaica*. El procés que realitza aquesta transformació es denomina *efecte fotovoltaic*, i es duu a terme quan la radiació solar incideix sobre un material semiconductor. Té un rendiment entre el 7 i el 17 %.

Cèl·lula fotovoltaica

Les *cèl·lules fotovoltaiques* estan formades fundamentalment per silici. Aquest material es modifica químicament per obtenir dues estructures elèctricament diferents entre sí, *semiconductor tipus p* i *semiconductor tipus n*, que formen un camp elèctric donant lloc a una cara positiva i una altra negativa (Fig. 5.8). Quan la llum solar incideix sobre la *cèl·lula* s'alliberen electrons que poden ser separats pel camp elèctric, donant lloc a un corrent elèctric. Una *cèl·lula FV* típica de 100 cm^2 pot produir al voltant d'1,5 W (0,5 V i 3 A).



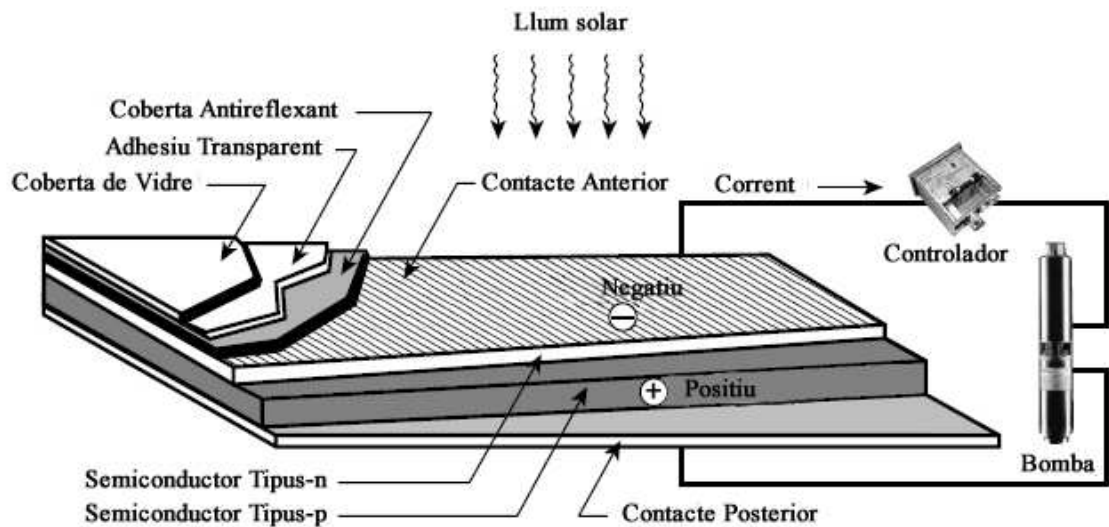


Fig 5.8. Dibuix dels components interns i externs de què consta una cèl·lula fotovoltaica, acoblada a una bomba. [Font: Kyocera Solar, Inc.]

Les característiques que defineixen el comportament d'una cèl·lula fotovoltaica són els següents:

- Intensitat de corrent de curtcircuit (I_{sc}), que es genera si es curtcircuiten els borns de la cèl·lula.
- Tensió de circuit obert (V_{oc}), que és la pròpia tensió en borns de la cèl·lula quan aquesta no està connectada a cap càrrega.
- Punt de Màxima Potència (PMP), que és aquell en què la cèl·lula produeix la màxima potència, essent la seva magnitud igual al producte de la intensitat i tensió màximes. La potència màxima que pot aconseguir la cèl·lula en condicions estàndard s'anomena *potència pic*, amb unitat de mesura el Watt-pic [Wp].



Mòdul fotovoltaic

Un *mòdul fotovoltaic* consisteix en un conjunt de cèl·lules FV elèctricament connectades unes a les altres, encapsulades muntades en una placa laminada i una estructura suport o marc. Els mòduls estan dissenyats per subministrar electricitat a un determinat voltatge (normalment 12 o 24 V). El corrent produït depèn del nivell d'insolació. La estructura del mòdul protegeix les cèl·lules de l'entorn fent que siguin molt duradores i fiables.

A continuació es mostra la corba de funcionament I-V d'un mòdul FV (Fig. 5.9). Les característiques mencionades de funcionament de la cèl·lula tenen el mateix significat en tractar un mòdul. Únicament en canvien els valors.

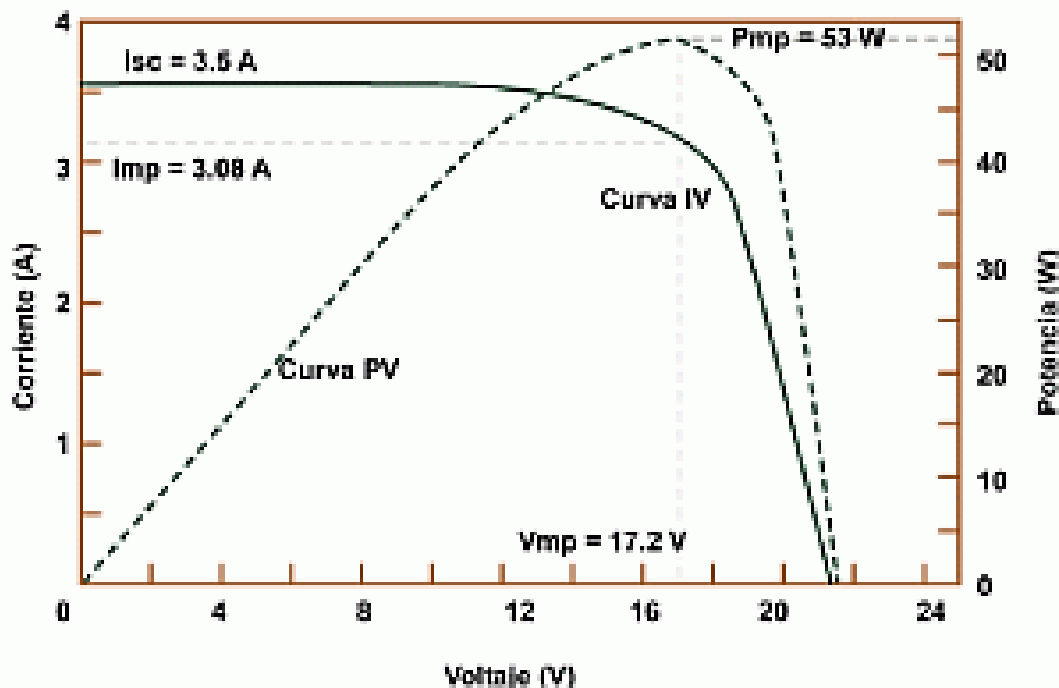


Fig. 5.9. Corbes I – V i de Potència d'un mòdul fotovoltaic.

[Font: New Mexico State University]



5.3.3. Associació d'elements

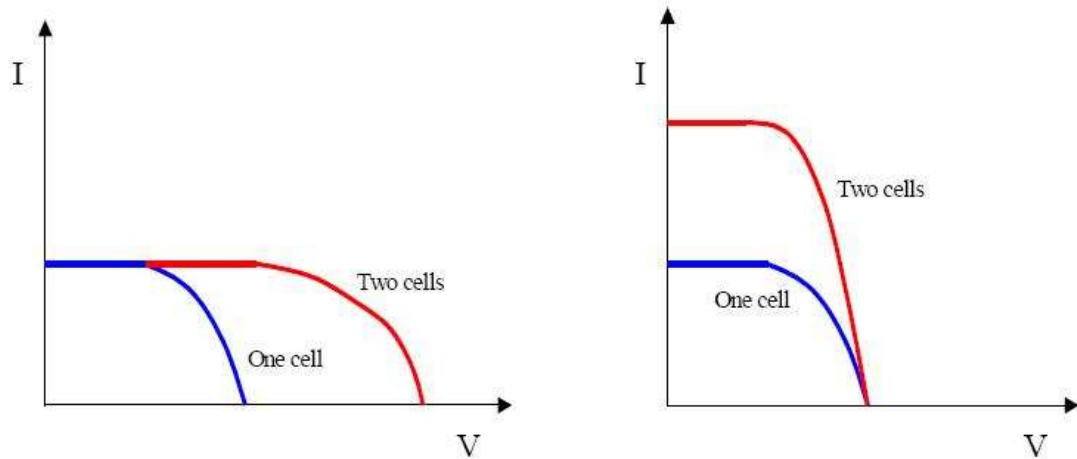


Fig. 5.10. Influència sobre la corba I – V de l'associació de dues cèl·lules idèntiques en sèrie i en paral·lel. [Font: Hansen, Anca D.]

La cèl·lula FV típica genera un voltatge de circuit obert d'uns 0,6 V i un corrent de curtcircuit que depèn de l'àrea però que sol ser d'uns 3 A. Degut a la poca potència que genera, s'associen en sèrie per formar un mòdul convencional de 36 cèl·lules (21,6 V, 3 A).

Així doncs l'associació de cèl·lules o mòduls solars en sèrie serveix per multiplicar-ne el voltatge pel nombre d'elements connectats amb la intensitat constant; d'altra banda, si s'associen en paral·lel la intensitat es multiplica i el voltatge es manté (Fig. 5.10).



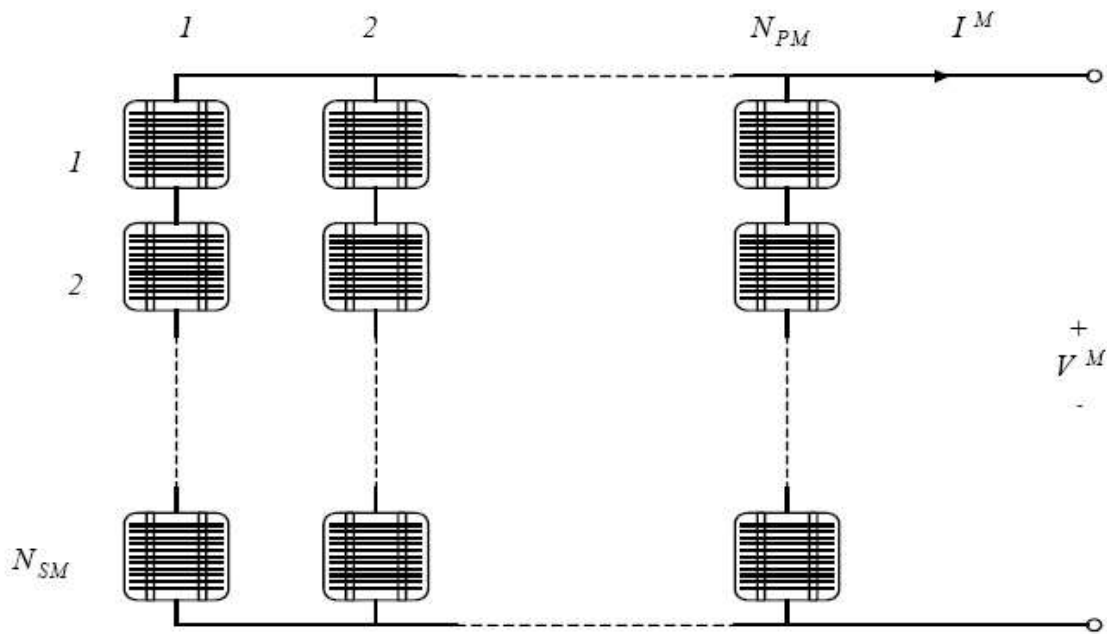


Fig. 5.11. Rames de cèl·lules en sèrie acoblades en paral·lel per formar un generador FV. [Font: Hansen, Anca D.]

Rama fotovoltaica

Subconjunt de mòduls fotovoltaics connectats, en sèrie o en associacions sèrie - paral·lel.

Generador fotovoltaic

Associació en paral·lel de rames fotovoltaiques.

Tot i que un únic mòdul pot ser suficient per a moltes aplicacions, és habitual dos o més mòduls per formar un generador FV. Els generadors o mòduls FV produeixen un corrent continu (DC) i es poden connectar en sèrie i/o en paral·lel també per produir qualsevol combinació de corrent i tensió, fins assolir la potència necessària per a cada aplicació.



Les equacions relatives a l'associació de cèl·lules o mòduls FV es mostren a continuació (Eq. 5.4 i Eq. 5.5):

$$I_G = N_{PM} \cdot I^M \quad (5.4)$$

I_G : intensitat del generador [A]

N_{PM} : número de rames connectades en paral·lel

I^M : intensitat d'un mòdul FV [A]

$$U_G = N_{SM} \cdot U^M \quad (5.5)$$

U_G : tensió del generador [V]

N_{SM} : número de mòduls connectats en sèrie de cada rama

U^M : tensió d'un mòdul FV [V]

5.3.4. Pèrdues energètiques FV

Vàries pèrdues de consideració relativa s'han de tenir en compte quan es calculen sistemes fotovoltaics. Aquests valors en tant per u, cal multiplicar-los per la potència pic del generador, per tenir la potència que realment genera.

A continuació n'apareixen les principals.

- Cablejat.
- Pols i brutícia.
- Angulars i espectrals.
- Òhmiques DC.
- No compliment de Potència Nominal.



- Rendiment SPMP.
- Ombrejat.
- Òhmiques AC.

En l'eina de dimensionament es tenen en compte totes aquestes pèrdues.

5.4. Condicionament de potència

Els components que conformen el subsistema d'adaptació elèctrica són dispositius electrònics que es troben situats entre el generador FV i el conjunt motor – bomba.

Permeten obtenir el màxim rendiment del conjunt generador – motor – bomba.

SPMP

Incorporats en alguns d'aquests dispositius electrònics, cada cop s'estan perfeccionant més els sistemes *Seguidors del Punt de Màxima Potència* (SPMP). La variabilitat de la potència de sortida del generador FV implica que en cas de no existir dispositius d'acoblament entre càrrega i generador, el sistema operarà sovint fora del punt de màxima potència. Les pèrdues de desacoblament es poden evitar amb aquest sistema.

Els SPMP asseguren que sempre hi hagi un màxim de transferència d'energia entre el generador FV i la càrrega situant el punt de treball en el punt de màxima potència del generador. El rendiment global del sistema augmenta.

Convertidor DC/AC (inversor)

Existeixen en l'actualitat gran quantitat d'inversors amb múltiples possibilitats de configuració per tal de convertir el corrent continu que genera un mòdul fotovoltaic en corrent altern aprofitable pel motor. Sempre que un motor AC sigui el que s'utilitzi.



- Circuit electrònic que transforma *corrent continu* en *altern*.
- D'ús obligatori amb motors AC.
- Incorporen SPMP.
- *Outputs* de freqüència i voltatge constants excepte inversors específics pel bombeig.
- Sortida trifàsica o monofàsica. Elecció depenent del motor.

Convertidor DC/DC

- Ajusta les variables de voltatge i intensitat.
- Reductor o elevador.
- Augmenta les hores de treball del sistema.
- Generalment no duen el sistema SPMP.
- Imprescindible en bombes de flux positiu.

Variador de freqüència

- Circuit electrònic similar a un inversor que transforma el corrent d'entrada (DC o AC) a un corrent altern de freqüència variable.
- Connectat a un motor AC modifica la freqüència (velocitat) de treball del motor.
- Problema: estan dissenyats per a entrades constants i no de caràcter variable, com al produïda pel generador FV. Preu elevat comparat amb un inversor.
- Avantatges: major rendiment. S'amplia el ventall de potències disponibles per a sistemes de bombeig.



A més, els reguladors electrònics de càrrega permeten realitzar un procés òptim de càrrega de bateries. No s'hi aprofundeix pel fet que l'eina de dimensionament emmagatzema energia en forma d'altura potencial d'aigua en un dipòsit i no de bateries elèctriques.

5.5. Grup motor – bomba

Tot i que es tracten de manera separada pel fet que el motor transforma energia elèctrica en energia mecànica rotatòria i la bomba transforma aquesta última en energia potencial, aquest apartat s'anomena Grup motor – bomba pel fet que aquests dos elements sempre es troben com una única peça física, anomenada motobomba o, senzillament, bomba. D'ara en endavant, quan apareix la paraula motobomba s'entén com a això.

5.5.1. Motor

Aparell encarregat de la transformació d'energia elèctrica en energia mecànica rotacional.

Hi ha dos tipus de motors atenent al tipus de corrent d'alimentació:

- Motors DC

Característica de funcionament principal: la velocitat de gir del motor és funció de la intensitat i del voltatge d'entrada.

- Motors AC

Característica de funcionament principal: la velocitat de gir del motor depèn de la freqüència de la tensió d'entrada.

D'inducció síncrons. Rotor de pols magnètics constants. El rotor gira a les mateixes revolucions que el camp magnètic de l'estator.

D'inducció asíncrons. Rotor de pols magnètics variables. El rotor no gira a la mateixa freqüència amb la que ho fa el camp magnètic de l'estator.



Motors pel bombeig FV

Els motors que s'utilitzen pel bombeig d'aigua fotovoltaic són motors AC asíncrons. El principal motiu és la possibilitat de variar la freqüència per tal d'adaptar el funcionament del motor a les hores de Sol diàries.

D'aquesta manera, i gràcies al variador de freqüència, es maximitza el rendiment global del sistema. Per exemple, d'aquesta manera la bomba pot començar a bombejar a primera hora del matí i deixar de bombejar entrada la tarda.

És interessant per acabar l'apartat de *Motor* una comparativa entre els dos tipus de motor existents (Taula 5.3).

Tipus Motor	Avantatges	Inconvenients
DC	<p>Alts rendiments</p> <p>No necessiten inversor</p> <p>Acoblament directe amb generador FV</p>	<p>Manteniment regular per motors amb escombretes</p> <p>Preu elevat</p> <p>Pitjor disponibilitat per altes potències davant AC</p>
AC	<p>Bon preu</p> <p>Gran varietat de motors i alta disponibilitat</p> <p>Rendiments un pèl majors que DC</p>	<p>Es necessita inversor</p> <p>Elevat parell d'arrencada. Motors síncrons</p> <p>Pèrdues per fricció i escalfament. Lubricació</p>

Taula 5.3. Taula comparativa entre els motors de corrent continu i els de corrent altern.

En l'eina de dimensionament s'utilitza un motor AC asíncron. A més de tenir la gran avantatge de poder-ne variar la freqüència d'operació, són més econòmics i tenen major rendiment que els DC.



5.5.2. Bomba

Aparell encarregat de la transformació d'energia mecànica rotacional en energia hidràulica o energia potencial.

N'hi ha de dos tipus. Les de desplaçament positiu o volumètriques, i les centrífugues.

De desplaçament positiu o volumètriques

Obliguen al fluid avançar a través de la màquina gràcies a canvis de volum provocats per un control mòbil. Són apropiades per elevades altures manomètriques i baixos cabals. No necessiten ser encebades per altures menors de 4 metres. Els elements principals que fan que el fluid avanci són el pistó o la membrana.

En cada cicle de moviment del pistó o la membrana, es mou una petita quantitat de líquid cap amunt. El cabal és proporcional al volum d'aigua, cosa que significa que disposen d'un ampli rang de profunditats de funcionament. La bomba aspirant o el molí de vent de l'apartat 4 són bons exemples de bombes d'aquest tipus.

Les bombes volumètriques es divideixen en:

- Bombes de cilindre.

Molt populars en aplicacions de bombeig mecànic activades pel vent, tracció animal o humana. El seu principi és idèntic al d'una *bomba aspirant*, cada cop que el pistó baixa, l'aigua del pou entra a la seva cavitat i quan aquest puja, empeny l'aigua a la superfície. En instal·lacions FV les bombes d'aquesta categoria han d'estar sempre connectades a un controlador de corrent per aprofitar al màxim la potència que subministra el generador.



- Bombes de diafragma.

Aquestes bombes fan desplaçar l'aigua mitjançant diafragmes d'un material flexible i resistent. Funcionalment parlant, el diafragma crea depressions per succionar l'aigua i empènyer-la posteriorment, igualment que les bombes de cilindre.

Actualment, aquests diafragmes es fabriquen de cautxú reforçat amb materials sintètics i poden durar de dos a tres anys amb funcionament continu. Són econòmiques però cal tenir en compte dues coses:

- Reemplaçament periòdic dels diafragmes (2 – 3 anys).
- Reemplaçament periòdic de les escombretes del motor de corrent continu que acostumen a tenir.

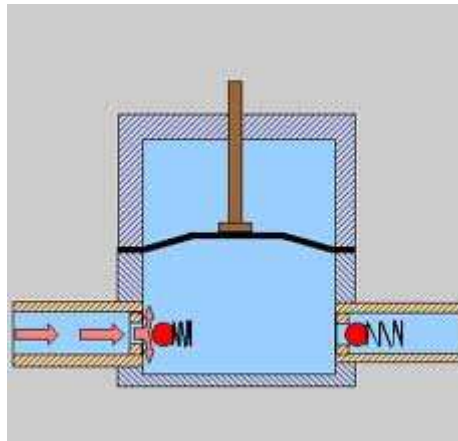


Fig. 5.12. Esquema de funcionament d'una bomba de diafragma. [Font: sabelotodo.org]

Centrífugues

Transfereixen quantitat de moviment al fluid mitjançant paletes o àleps giratoris. Dissenyades per una altura manomètrica constant. Proporcionen un cabal major que les bombes volumètriques per altures petites. Necessiten d'encebament per funcionar.



Les bombes centrífugues que estan equipades amb un sol impulsor es denominen bombes d'una sola etapa, mentre que les que tenen dos o més impulsors s'anomenen bombes de múltiples etapes. Aquestes últimes poden bombejar a majors altures de descàrrega tot i no augmentar el cabal.

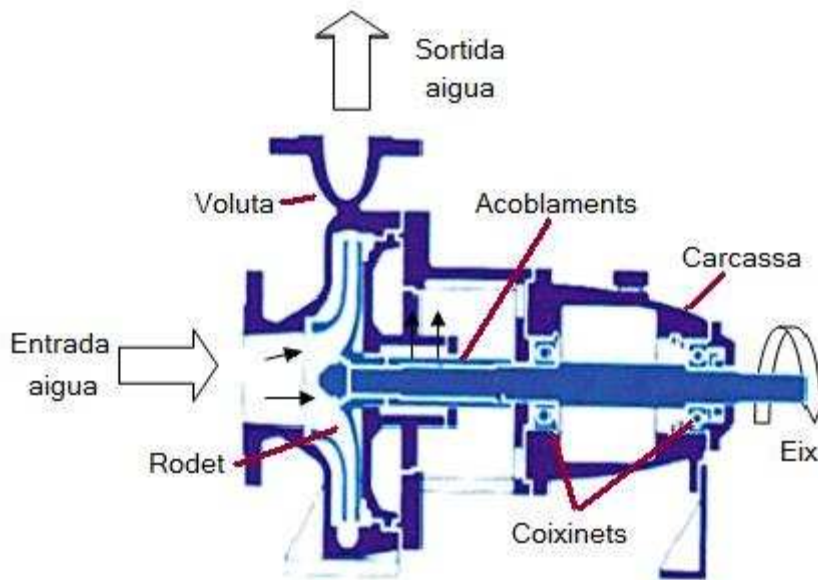


Fig. 5.13. Esquema de funcionament d'una bomba de diafragma.
[Font: Universidad Nacional Experimental del Táchira]

A continuació s'expliquen breument els principals components d'una bomba centrífuga (Fig. 5.13).

- **Rodet:** és l'element més important de la bomba centrífuga. Conté una sèrie d'àleps (nombre variable en funció dels requeriments d'atura i cabal de bombeig) que s'encarreguen de donar la quantitat de moviment necessària a l'aigua que arriba per l'entrada (Fig. 5.14).





Fig. 5.14. Fotografia i dibuixos de rodets amb els seus àleps.

- **Eix:** és un element fonamental, doncs transmet l'energia mecànica rotatòria produïda pel rotor del motor al rodet.
- **Coixinets:** s'encarreguen de mantenir el rotor en correcte alineament amb les parts estacionàries sota l'acció del moviment del rodet. Amb això s'eviten vibracions, desgast i soroll; s'allarga la vida útil de la bomba. Quan es desgasten necessiten ser reemplaçats.
- **Acoblaments:** l'acoblament entre l'eix i el rodet de la bomba és ben complex pel fet de que necessita aïllar totalment l'aigua que circula per aquest últim. Per a tal efecte, aquest acoblament disposa d'unes *juntres mecàniques*.

Juntres mecàniques

Els segellaments mecànics són uns anells que es posen al voltant de l'eix just en el punt d'unió eix – rodet produint un efecte de segellat. Un dels anells (estacionari) roman estàtic respecte la carcassa; l'altre (rotatiu), gira solidàriament amb l'eix. Aquest efecte de segellat s'aconsegueix amb el perfecte acabat de les cares de fricció, no permetent el pas de fluid entre elles. És necessària una fina pel·lícula líquida per reduir el coeficient de fricció i impedir-ne el funcionament en sec, cosa que ocasionaria un desgast suficient com perquè el líquid vessés.



- **Voluta:** és la càmera en forma d'espiral dins la qual gira el rodet i que recull el líquid propulsat radialment per dirigir-lo a la boca de sortida de la bomba.
- **Carcassa:** la carcassa fixa la bomba en un ambient, protegeix les seves parts de l'exterior, serveix com a referència estàtica/estacionària per les juntes i coixinets i evita que petites fuites d'aigua vessin a l'exterior.

Les bombes centrífugues poden ser submergibles (Fig. 5.15) o de superfície. Les submergibles solen tenir sempre vàries etapes i estan completament segellades per evitar que l'oli de lubricació no contamine l'aigua. Amb tot i així, hi ha bombes que utilitzen l'aigua mateixa com a lubricant. Aquestes mai han de treballar en sec, doncs sofreixen sobreescalfament i es cremen.

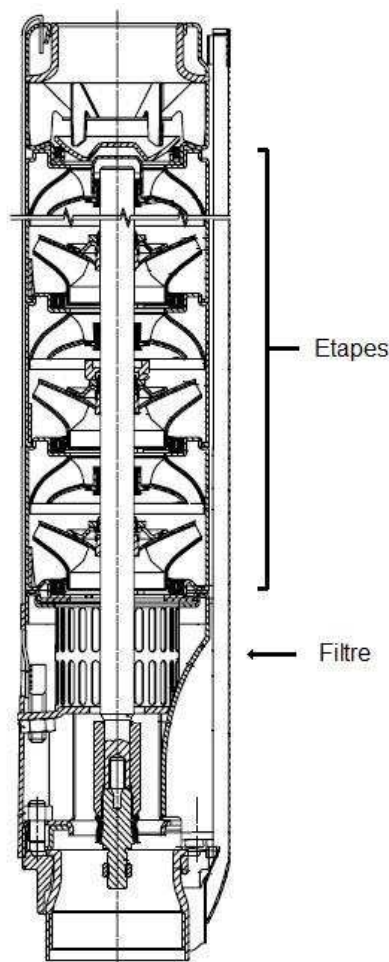


Fig. 5.15. Plànol d'una bomba centrífuga multi - etapa.

[Font: GRUNDFOS]



En la Taula 5.4 hi ha la comparativa entre els dos tipus de bomba existents.

Tipus bomba	Avantatges	Inconvenients	Ús
Volumètrica	Gran altura bombejada Major rendiment que centrífuga	Necessiten condicionament de potència Parell d'arrencada elevat Manteniment regular Vida útil de 5 anys	H → grans Q → petit
Centrífuga	Senzillesa mecànica Fàcil operació i manteniment Robustesa Petit parell d'arrencada Versatilitat	Petites altures (es soluciona amb connexió en sèrie)	H → petites i mitjanes Q → mig i gran

Taula 5.4. Taula comparativa entre bombes volumètriques i centrífugues.

Selecció de la bomba

Com s'ha vist, les bombes centrífugues i volumètriques ofereixen diferents alternatives per diferents rangs d'aplicació. El procés de selecció de la bomba en un projecte FV és de vital importància, ha de funcionar eficientment ja que la energia fotovoltaica té un preu. Aquest procés és ben complicat donada la multitud de marques i característiques de cada bomba.

Les bombes més eficients són les de desplaçament positiu de pistó, però no són recomanables per a costos mitjans i grans a baixa altura de bombeig. Per exemple, una



bomba aspirant pot tenir eficiència de més del 40% davant el 15% d'eficiència a la que pot arribar una centrífuga.

La següent figura (Fig. 5.16) indica el tipus de bomba adequada que es recomana en general segons la càrrega dinàmica total del sistema i per a cada volum bombejat.

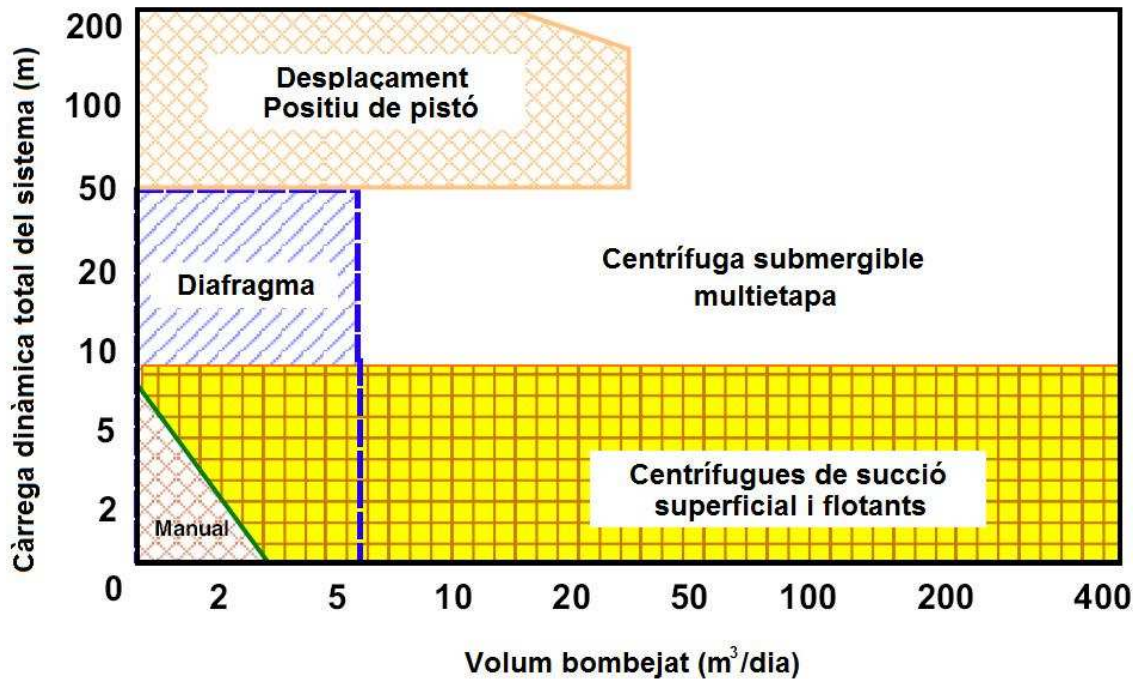


Fig. 5.16. Tipus de bomba recomanat segons la càrrega dinàmica total del sistema i el consum de volum d'aigua diari. [Font: Sandia National Laboratories]

En l'eina de dimensionament del projecte (apartat 6) s'opta per escollir una bomba **centrífuga submergible de més d'una etapa** per la instal·lació estudiada donat que té unes avantatges totalment decisives com la versatilitat, ja que variant les etapes d'una bomba centrífuga s'amplia el seu rang d'utilització de manera significativa.

A més, en l'eina sovint hi haurà configuracions que superin els 5 m³ diaris bombejats i els 10 m d'altura de bombeig; fet que, atenent a la Figura 5.16, reforça la selecció realitzada.



5.6. Emmagatzematge

Com apareix en l'apartat 4.2, hi ha dues maneres d'emmagatzemar l'energia de bombeig hidràulic FV. Una és l'ús de bateries que emmagatzemen electricitat; l'altra és la d'acumular l'aigua bombejada en un dipòsit. Es poden combinar ambdues.

Tot i que el present projecte està totalment basat en emmagatzemar aigua en un dipòsit i prescindir totalment de bateries elèctriques, se'n fa una petita pinzellada.

Bateries

L'emmagatzematge per bateries elèctriques normalment es justifica únicament quan el rendiment màxim del pou durant les hores de Sol és insuficient per satisfer les demandes diàries d'aigua i quan es requereix bombejar aigua per la nit.

A més de necessitar manteniment, a llarg termini podria ser més econòmic perforar un altre pou que afegir emmagatzematge per bateries [4].

Dipòsits

Emmagatzemar aigua en dipòsits és molt més econòmic que emmagatzemar energia en bateries. Cada cinc anys aproximadament, les bateries s'han de canviar per unes de noves, mentre que la vida útil d'un dipòsit ben construït és de vàries dècades. Es recomana emmagatzemar l'aigua per a tres dies d'abastiment, tot i que és un valor que varia en funció de les necessitats de cada usuari.

Per finalitzar l'apartat del subsistema d'emmagatzematge, en la Taula 5.5 apareixen les principals avantatges i inconvenients de les dues formes d'emmagatzemar energia.



Dispositiu	Avantatges	Inconvenients
Bateries elèctriques	Fixen el voltatge Emmagatzemen electricitat	Requereixen manteniment Necessiten regulador de càrrega Vida útil limitada Es perd eficiència
Dipòsits	Aprofiten energia FV sobrant en energia potencial Gran varietat de materials per construir-lo Llarga vida útil Més eficient que les bateries	Situar-lo alt, respecte on es necessita l'aigua

Taula 5.5. Taula comparativa entre emmagatzemar energia amb bateries elèctriques o bé amb un dipòsit.

En general, no es recomana utilitzar bateries en sistemes de bombeig FV. Això, i l'anàlisi de les avantatges i inconvenients, fa que l'emmagatzematge en l'eina de dimensionament del projecte sigui en forma d'energia potencial de l'aigua en un dipòsit.

5.7. Acoblament entre subsistemes i configuracions habituals

L'acoblament de subsistemes es diferencia en dos grans blocs. El transport d'energia elèctrica (cablejat) i el transport d'aigua (canonades).



5.7.1. Cablejat elèctric

Seleccionar i instal·lar correctament els cables elèctrics és essencial pel rendiment de la bomba en aquest tipus de sistemes. La electricitat solar és molt valuosa i el seu malbaratament s'ha d'evitar.

Les instal·lacions de bombes solars generalment requereixen de cables de major calibre que els sistemes normals de corrent alterna (AC) per evitar pèrdues d'energia. Mentre més profund sigui el pou, es requerirà un cable de major calibre.

5.7.2. Canonades

El sistema de canonades s'encarrega de conduir l'aigua bombejada fins el dipòsit. Posteriorment, del dipòsit fins el punt de consum.

Les canonades provoquen al fluid dos tipus de pèrdues: pèrdues per fricció i pèrdues per singularitats (apartat 5.2.3). Una canonada més gran pot servir per reduir pèrdues per fricció en llargs recorreguts horitzontals, i s'ha d'evitar per a recorreguts verticals perquè pot entrar arena a l'aigua i causar bloqueig.

Preferentment s'utilitzen canonades de plàstic de PVC per multitud d'avantatges explicades amb detall en l'apartat *Canonades* dins l'eina de dimensionament. Les més destacades són el fet que és un material molt llis i que permet un ràpid muntatge de la instal·lació.

Altres elements

A més a més, les instal·lacions de bombeig FV inclouen altres elements intermedis que es citen numerats atenent a la Figura 5.17:

1. Bomba submergible multi – etapa.
2. Cable d'alimentació submergible.
3. Fixació del cable.
4. Cable de reforç.



5. Mordassa del cable.
6. Panells solars.
7. Estructura de suport.
11. Unitat de condicionament de potència.
14. Dipòsit d'aigua.
15. Interruptor de nivell.

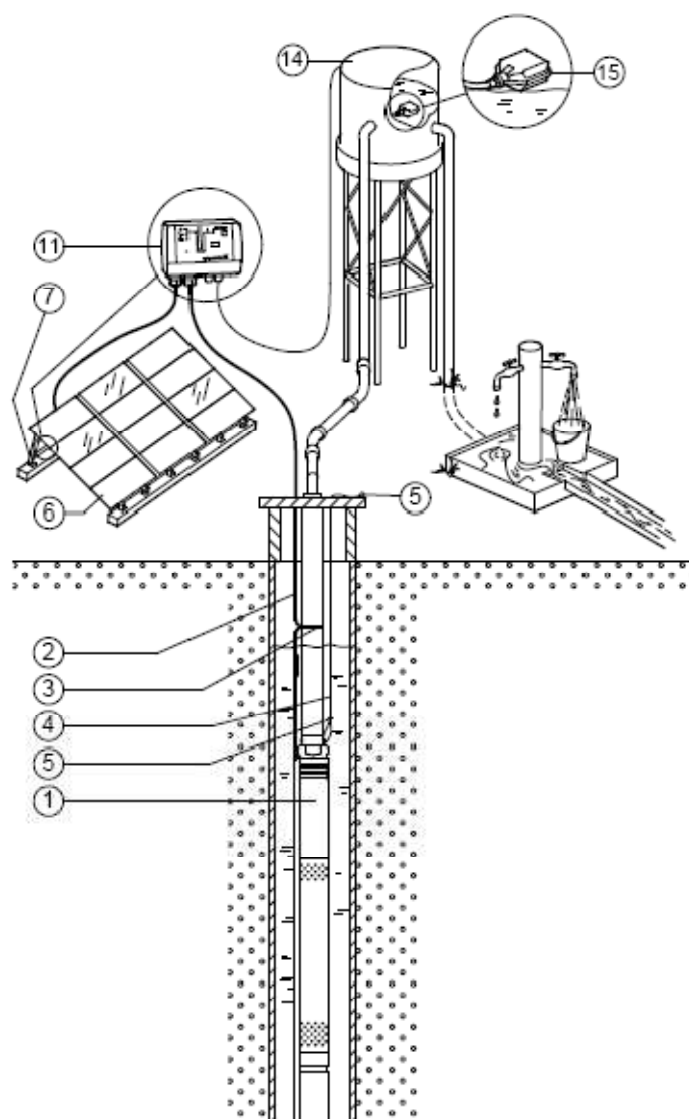


Fig. 5.17. Dibuix d'una instal·lació de bombeig FV típica amb el detall de components secundaris. [Font: GRUNDFOS]



Tot i no aparèixer en la figura, el sistema també conté:

- Interruptors i programadors horaris o diaris.
- Proteccions elèctriques, com fusibles o magneto tèrmics.

5.7.3. Configuracions habituals

Els diferents elements mencionats al llarg d'aquests apartats anteriors poden acoblar-se de varies maneres en funció de la demanda a cobrir, de la disponibilitat en el mercat de cadascun d'ells i fins i tot del preu. Les configuracions més habituals són les següents:

- Motobomba submergible, amb motor CC o CA i bomba centrífuga multi etapa. El nombre d'etapes és funció de l'altura requerida.
- Motobomba submergible volumètrica.
- Motobomba flotant amb motor CC i bomba centrífuga.
- Unitats motobomba (centrífugues o de pistó) en superfície.

Sempre citant l'eina de dimensionament que apareix més endavant detallada, la primera configuració és la que s'hi utilitza.

5.8. Tipologia d'avaries

La majoria d'avaries dels equips de bombeig d'aigua fotovoltaics no són culpa de l'equipament fotovoltaic (mòduls) sinó d'altres elements.

Segons un estudi realitzat al Brasil [5], on 801 sistemes de bombeig van ser analitzats, s'hi registraren 337 avaries. El 57% d'aquestes van ocórrer en el conjunt motor - bomba, el 41% en el sistema de condicionament de potència (inversor), i únicament el 2% de les avaries tenien el seu focus en els mòduls fotovoltaics.



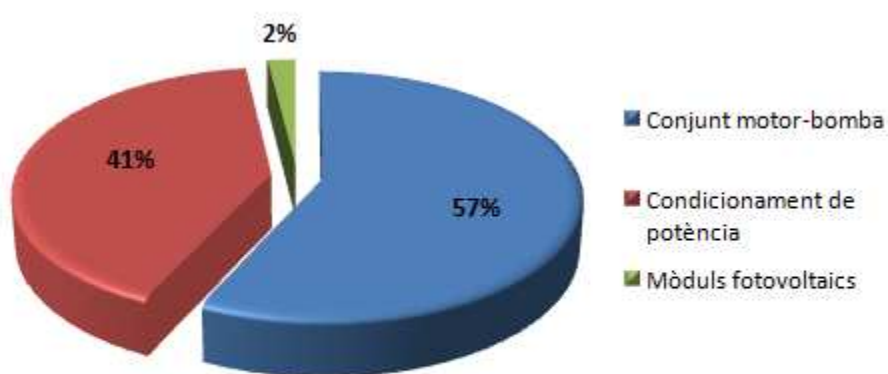


Fig. 5.18. Tipologia d'avaries segons en quins elements del sistema de bombeig FV es produeixen, segons l'estudi de Brito, A.U.

Amb un cop d'ull ràpid a la gràfica de la Fig. 5.18, s'entén perfectament el fet de necessitar una bomba on la fiabilitat sigui un requisit més important que el preu.

5.9. Viabilitat

Costos

El cost aproximat del Wp en la instal·lació completa (sense comptar la construcció del pou) és d'uns 9 €. Aquest, podria arribar a ser de 18 €/Wp si s'inclou el dipòsit d'emmagatzematge i obra civil [6].

Decisió energia

Durant el disseny d'un sistema de bombeig FV cal considerar varis punts:



- La disponibilitat d'altres fonts d'energia com l'electricitat de la xarxa de distribució, gasolina, diesel, vent, etc.
- L'aplicació que se li pretén donar a l'aigua extreta, per exemple, abeuradors per bestiar, reg, consum humà, etc.
- Les característiques del bombeig en termes de distància, volum, profunditat de la extracció i altura de descàrrega de l'aigua.
- La disponibilitat del recurs solar, és a dir, quanta quantitat d'energia solar hi ha en la regió geogràfica.

Cicle hidràulic

Una bona indicació de la mida i cost és el *cicle hidràulic* definit com el producte del volum diari [m^3] per la altura de bombeig [m]. El cicle hidràulic s'expressa en m^4 .

Per exemple, 5 m^3 a bombejar de 15 m de profunditat dóna un cicle hidràulic de 75 m^4 . Així mateix, bombejar 15 m^3 a una altura de 5 m, també dóna els 75 m^4 . En ambdós casos l'energia requerida és aproximadament la mateixa i el cost dels sistemes ben similar.

Quan es considera que la demanda és massa gran pel bombeig solar?

Atenent a la Fig. 5.19, la experiència mostra que un projecte és econòmicament viable quan el cicle hidràulic no sobrepassa els 1500 m^4 . Els sistemes de bombeig d'aigua amb sistemes de combustió interna o eòlics són més competitius quan el cicle és major [7].



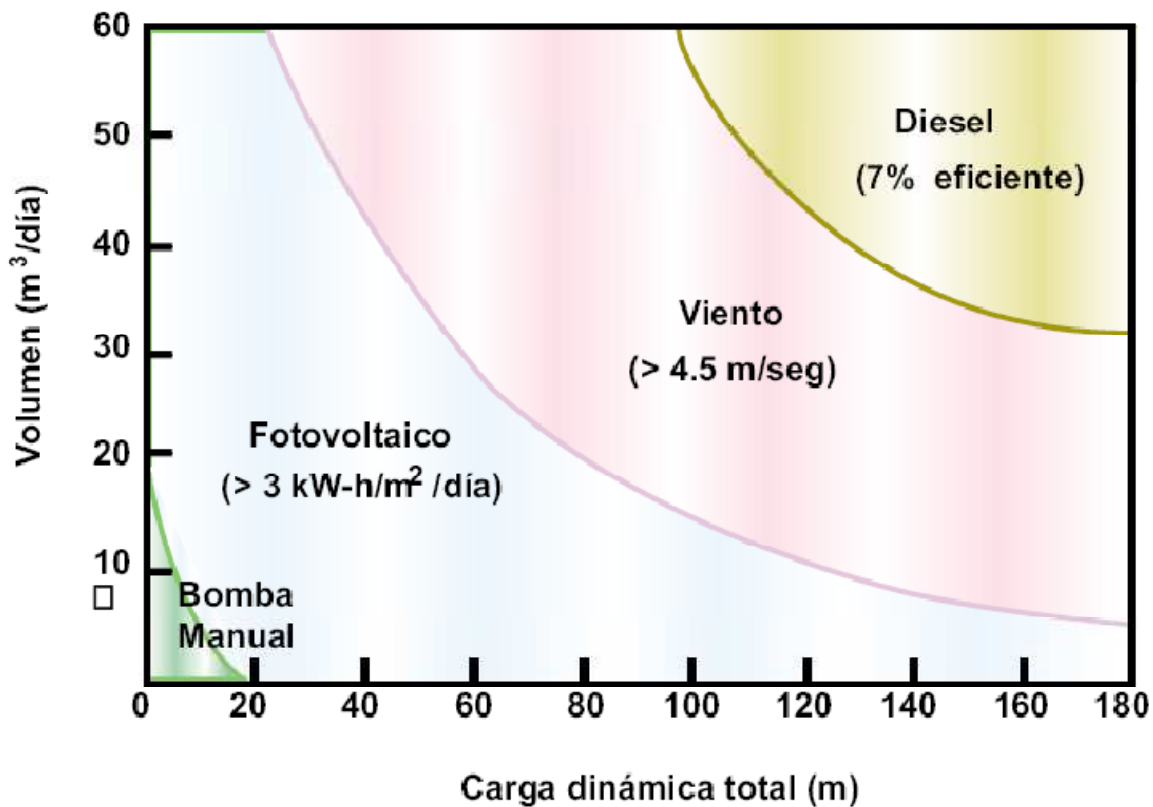


Fig. 5.19. Tipus d'obtenció d'energia per bombejar aigua recomanat segons el cicle hidràulic. [Font: Alonso Abella, M.]

Aquesta gràfica anterior està realitzada assumint una irradiació diària major que 3 kWh/m², una velocitat del vent major que 4,5 m/s i una eficiència del 7 % pels grups electrògens amb Diesel.

Un petit resum de l'apartat de *Viabilitat* es troba representat en el diagrama de la Fig. 5.20. Els paràmetres de demanda, càrrega dinàmica i irradiació són els més importants, però convé no menystenir el de distància a la xarxa de baixa tensió, doncs seria perdre diners si aquesta és menor al mig quilòmetre (aproximadament).



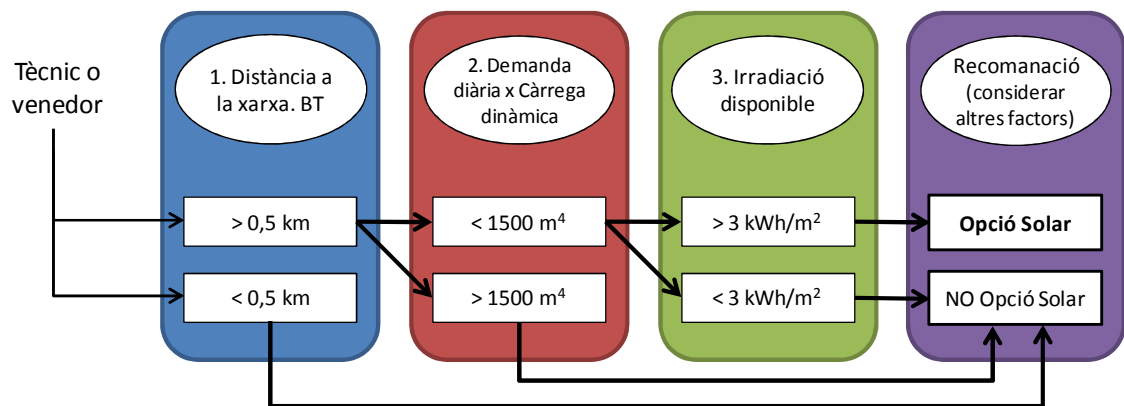


Fig. 5.20. Diagrama de recomanació dels passos a seguir abans de prendre la decisió d'implantar un sistema de bombeig FV.

A més a més, es poden trobar alguns mesos de l'any en què la irradiació sigui menor a 3 kWh/m². En aquest cas, cal observar la demanda, perquè generalment també serà inferior i no caldrà refusar la Opció Solar tal i com diu el diagrama.

Finalment, seguir aquest diagrama únicament és una recomanació. Altres avantatges comentades en l'apartat 5.1 o en l'*Estat de l'art* poden ser més decisives que aquest.





6. Eina de dimensionament d'instal·lacions de bombeig fotovoltaic aïllades

A continuació es mostra la part principal del projecte, que no és altra que l'aplicació de tots els conceptes, equacions i altres informacions vistos fins ara per a l'elaboració d'una eina de dimensionament d'ajuda pels usuaris interessats en dissenyar o instal·lar un sistema de bombeig fotovoltaic.

6.1. Consideracions inicials

És una eina de dimensionament senzilla i clara. L'usuari introdueix les dades corresponents al seu propi cas i n'obté unes directrius i/o solucions per poder dissenyar i muntar una instal·lació solar fotovoltaica aïllada aplicada al bombeig hidràulic.

L'eina de dimensionament està feta amb el full de càlcul Excel de Microsoft Office i es divideix en diverses pestanyes. L'usuari s'ha de moure de pestanya en pestanya per anar omplint i rebent informació adientment. Aquesta navegació pel full de càlcul pretén ésser senzilla gràcies a la presència de vincles que relacionen les pestanyes.

Els resultats queden desglossats segons tres enfocaments diferents:

- Anual. Per si l'usuari consumeix aigua al llarg de l'any.
- Hivern. Per si l'usuari consumeix únicament en temporada hivernal.
- Estiu. Per si únicament es consumeix en època estival i/o té cultius a regar.

Tots els conceptes i vocabulari de caràcter científic que apareixen al llarg de l'explicació de l'eina de dimensionament, han estat ja explicats o s'expliquen al llarg dels apartats que venen a continuació. Quan es fa referència a l'*Administrador*, cal saber que és qui té el dret de modificar algunes *Dades Mestres* i/o afegir-ne.



6.2. Software existent

Les grans marques internacionals de bombes acostumen a tenir incorporat algun programa de disseny d'instal·lacions de bombeig fotovoltaic. Sense incorporar detalls ni deixar realitzar canvis a petició de l'usuari, acostumen a ser senzilles, visualment molt atractives i també efectives.

Hi ha altres softwares existents creats per usuaris o enginyers anònims, elaborats sovint amb fulls de càlcul. Tot i no disposar d'interfícies tan elaborades, incorporen més detalls i, ofereixen informació més especialitzada.

L'eina de dimensionament tractada en el present projecte entraria més en la segona tipologia de software. Incorpora múltiples detalls i permet canviar moltes variables a gust de l'usuari. El tret diferencial n'és l'estudi detallat de les pèrdues lineals i singulars existents en les canonades.

6.3. Requeriments

Hi ha dues característiques clau a determinar quan es vol dissenyar un sistema de bombeig d'aigua: el consum o **cabal** a bombejar (m^3/dia) i l'**alçada** de bombeig (m). El producte d'aquestes dues variables és el que es coneix com *cicle hidràulic*, tal i com s'ha vist en l'apartat 5.9. Queda entès també que sempre que es parli de *fluid* es refereix a l'aigua.

La Taula 6.1 que hi ha a continuació reflexa els requeriments que ha de tenir la instal·lació a dissenyar mitjançant l'eina.



Característica	Requeriment
Cicle hidràulic [m ⁴]	Mínim = 50 m ⁴
	Màxim = 1500 m ⁴
Zona	Aïllada de la xarxa elèctrica (>0,5 km)

Taula 6.1. Requeriments de l'eina de dimensionament.

Observant la Taula 6.1, convé fer memòria i observar en quines zones treballem en les figures següents:

- Figura 5.16. El cicle hidràulic aconsella l'ús d'una **bomba centrífuga submergible multi – etapa**.
- Figura 5.19. El cicle hidràulic aconsella l'ús d'**energia fotovoltaica** per generar l'energia que necessita la bomba.

Així doncs, aprofitant els requeriments assenyalats fins ara, hi ha una sèrie d'elements o tecnologies els quals l'eina de dimensionament pressuposa que la instal·lació que s'està dissenyant segur que tindrà.

- Pou o aqüífer.
- Generador Fotovoltaic.
- Bomba centrífuga submergible multi – etapa (GRUNDFOS).

L'eina està dissenyada per seleccionar una bomba de la casa *Grundfos* pel fet de ser mundialment reconeguda i pionera en bombes submergibles. A més a més, convé que la bomba sigui el més fiable possible perquè és un dels elements que més avaries sofreix de tots els que componen el sistema (apartat 5.8).

- Canonades.



- Dipòsit (pels motius explicats a l'apartat 5.6).

Anàlisi prèvia

Tot i que l'eina dóna un cop de mà en aquest aspecte, és més que recomanable elaborar els següents estudis abans de prendre qualsevol decisió:

- Estudi de la demanda de consum que es necessita.
- Estudi de l'abatiment del pou o aqüífer.
- Estudi d'irradiació solar.

6.4. Mercat objectiu

Usuaris

L'eina va destinada a qualsevol usuari amb un perfil tècnic i coneixements que van des de la *Formació Professional*, passant per l'*Enginyeria Tècnica* i també l'*Enginyeria Superior*.

El fet que sigui una eina molt intuïtiva i senzilla pot fer que el ventall del mercat objectiu d'aquest producte pugui ser una mica més ample, per bé que uns coneixements mínims de l'energia fotovoltaica i la hidràulica en són totalment imprescindibles.

Localització sistema a implantar

L'eina és ideal per a poblats o conreus familiars aïllats de països subdesenvolupats donades les característiques de cabal requerit. A més, sol coincidir que aquests països tenen uns nivells d'irradiància solar molt alts.

També és ben adient per vivendes unifamiliars, petits col·legis o hospitals, granges, regs de conreus, parcs naturals, etc.



Zones aïllades de la xarxa de la Península Ibèrica també són bones candidates per instal·lar-hi un sistema de bombeig FV.

6.5. Eina

A continuació es detallen cadascuna de les pestanyes de que consta l'eina de dimensionament.

Convé dir que no és necessari que les caselles d'informació estiguin buides o s'hagin de reinicialitzar. Simplement sobreescrivint nous valors es poden anar seguint els passos normalment.

6.5.1. Ruta

És la pestanya primera. Tot i que no s'hi omple res ni tampoc dóna informació sobre el projecte o disseny, serveix com a guia per l'usuari.

Com el seu nom indica, es poden anar seguint els diferents vincles de la *ruta* per passar de pestanya en pestanya i/o tenir una visió global del què s'està fent.

6.5.2. Consum

És la primera pestanya a omplir. El consum és una variable fonamental del disseny de bombeig. És recomanable fer un petit estudi de la demanda abans d'utilitzar l'eina.

Presentació

La pestanya es divideix en dues zones: en la superior s'introdueix la dada de consum diari fixat i constant si es que així és el cas que ocupa; en la inferior s'hi tracten els elements concrets que comporten una demanda de consum.



També a la part superior hi apareixen els resultats finals, que no és altra cosa que una taula amb el consum diari al llarg de tots els mesos de l'any, acompanyada d'una gràfica que ho fa més entenedor.

Inputs

- Si el consum d'aigua diari serà fixat i constant al llarg de l'any o no (casella de selecció).
- Quin és aquest consum diari en cas que sigui fixat (barra de desplaçament).
- Seleccionar tipus d'abastiments del cas a tractar: ciutat/poble, granja, conreus (caselles de selecció). Se'n poden seleccionar varis i únicament en el cas que el consum diari no sigui fixat al llarg de l'any.
- Dotar un número d'elements o caps o hectàrees a cada element de càrrega associat a un consum, ja siguin persones, escoles, animals de granja o cultius (botons de nombre).

Outputs

- Consum diari per a cada mes al llarg de l'any: Q_d [m^3 /dia].

NOTA: L'eina avisa l'usuari en cas que la zona escollida tingui irradiàncies massa baixes.

Càlculs

- Consum: sumar els volums de consum dels elements escollits i aplicar el producte de l'estacionalitat que portin associada. Estacionalitat detallada en l'**Annex A**.

Els consums unitaris dels elements i les estacionalitats es treuen d'una base de dades de la pestanya *Dades Mestres*.



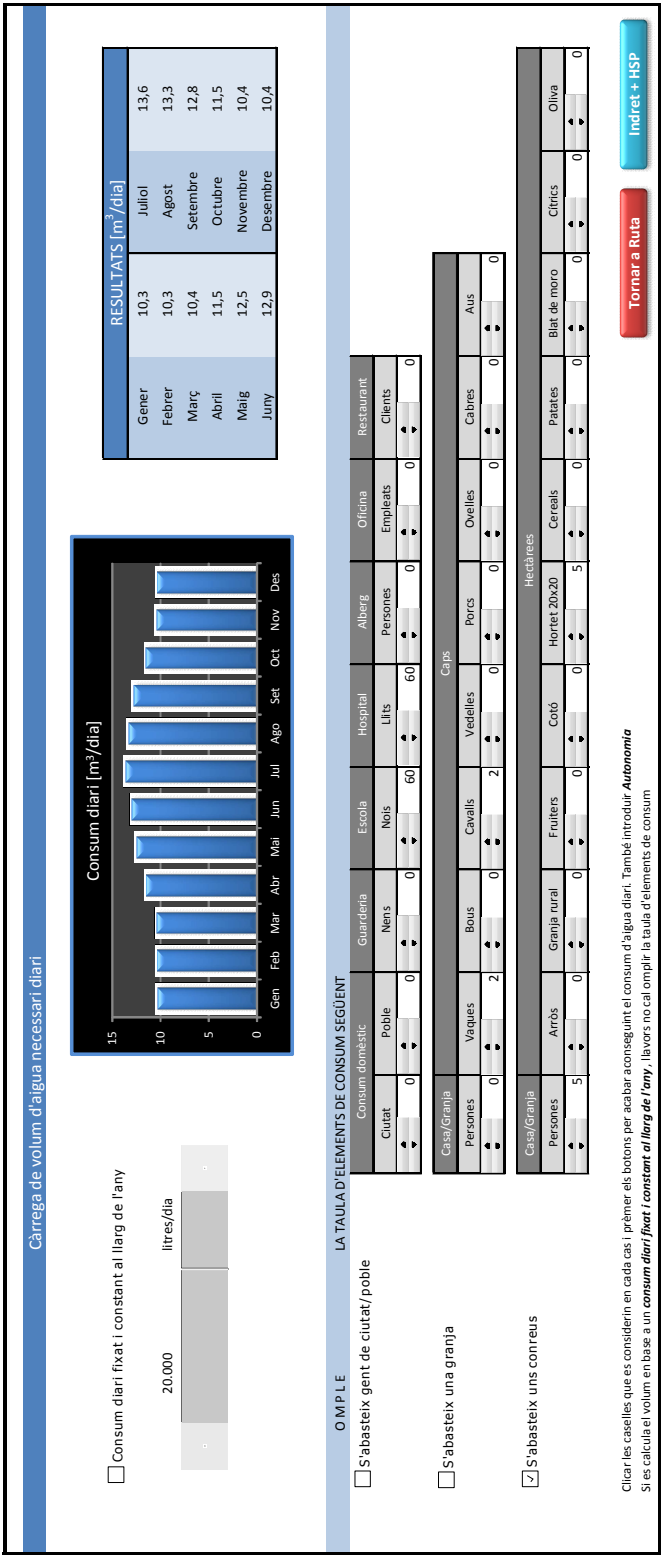


Fig 6.1. Pestanya Consum.



6.5.3. Indret i HSP

És una pestanya fonamental, ja que a partir d'escollir la zona on s'implanta el sistema, se'n coneix la irradiació. Sense aquesta variable seria impossible dimensionar els panells fotovoltaics; a més, és l'energia inicial, la que entra al sistema.

Presentació

La senzillesa és la clau, únicament cal entrar dos valors. Conté una gràfica explicativa amb temperatura i irradiacions de la zona geogràfica escollida. Dóna informacions orientatives a l'usuari i, internament, obté unes dades que posteriorment són decisives en altres càlculs de l'eina.

Inputs

- Zona d'instal·lació. Hi ha una llista de ciutats o zones a escollir (llista de valors). La llista de zones i els seus valors és modificable i ampliable per l'Administrador.
- Tipus d'atmosfera. Llista de tres valors a escollir. Atmosfera neta, neutral i bruta (llista de valors).

Outputs

- Latitud de la zona.
- Angles òptims d'inclinació per a cada òptica (anual, hivern, estiu).
- Mes de disseny. Mes a partir del qual es fan els càlculs. És el mes amb condicions més adverses: consum alt i irradiància baixa.
- Irradiació del mes de disseny.
- Factor corrector K.



- HSP. Hores Solar Pic.

Càlculs

- Del lloc geogràfic seleccionat en aquesta llista, el full de càlcul buscarà la irradiació mensual i la latitud en una base de dades modificable per l'*Administrador*.
- Angle òptim d'inclinació dels panells (β).

Calculat segons la latitud de la zona d'instal·lació amb les equacions (Eq. 6.1), (Eq. 6.2) i (Eq. 6.3) dels enfocaments anual, d'hivern i d'estiu respectivament [8]:

$$\beta_{anual} = \phi - 10^\circ \quad (6.1)$$

$$\beta_{hivern} = \phi + 10^\circ \quad (6.2)$$

$$\beta_{estiu} = \phi - 20^\circ \quad (6.3)$$

- Mes de disseny. Criteri pitjor mes.

Per escollir el pitjor mes de cadascuna de les òptiques diferents, es calcula el quocient entre la Demanda diària i les Hores Solar Pic (Eq. 6.4). El resultat és el cabal instantani constant que es pot estimar que es tindrà al llarg del dia. El màxim d'aquests valors correspon al mes més desfavorable.

$$\frac{\text{Demanda diària} \left[\frac{m^3}{dia} \right]}{HSP \left[\frac{h}{dia} \right]} = Q_{m\grave{a}x} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad (6.4)$$



- HSP.

Calculades a partir de la irradiació mensual, el factor corrector 'K', la correcció atmosfèrica i el número de dies del mes tractat (Eq. 6.5).

$$HSP \left(\frac{kWh}{m^2} \right) = \frac{I_{mensual} \left(\frac{kWh}{m^2} \right) \times C_{atm} \times K}{dies_{mes}} \quad (6.5)$$



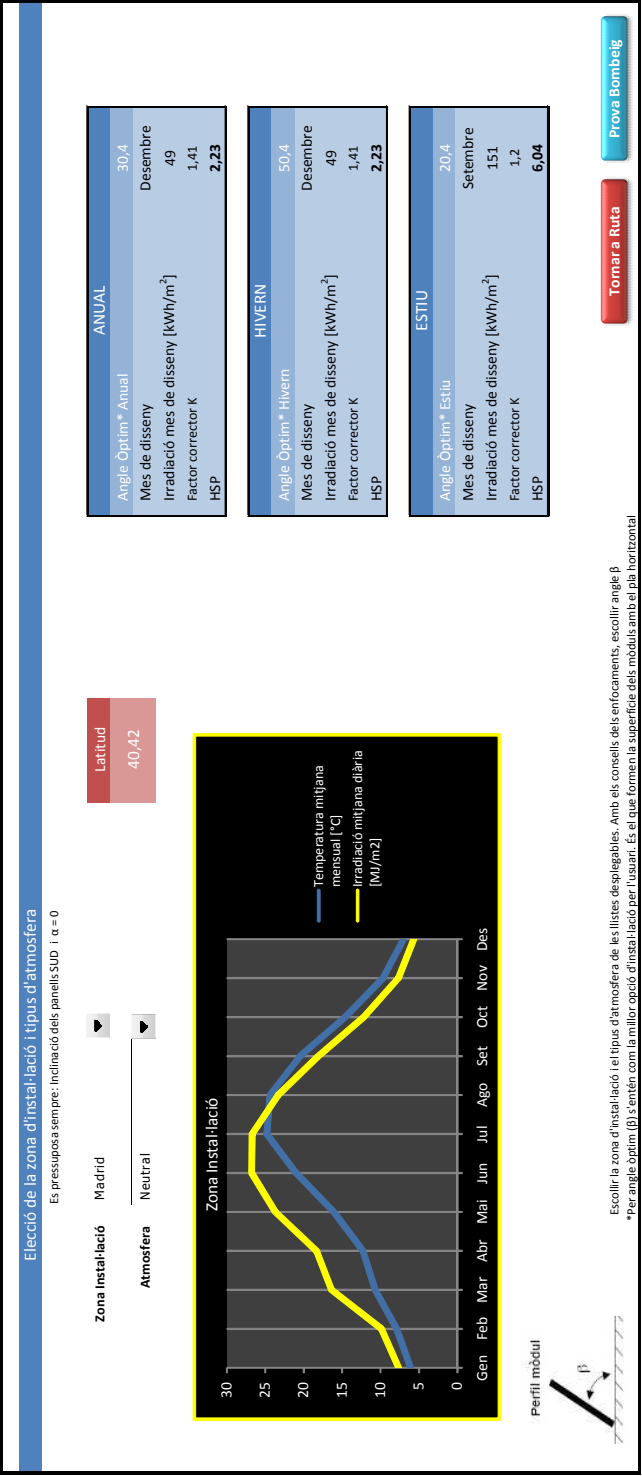


Fig 6.2. Pestanya Indret i HSP.



6.5.4. Prova bombeig

La *prova de bombeig* és un experiment que permet determinar el descens del nivell de l'aigua d'un pou a l'extreure un determinat cabal de prova.

Mitjançant aquest assaig de bombeig es caracteritza el pou amb la mesura de tres paràmetres (Fig. 6.3):

- Nivell estàtic de l'aigua: H_{ST} [m]

Distància vertical entre el nivell del terra i el nivell de l'aigua abans de la prova de bombeig.

- Nivell dinàmic de l'aigua: H_{DT} [m]

Distància vertical entre el nivell del terra i el nivell final de l'aigua després de la prova de bombeig.

- Cabal de prova: Q_T [m^3/h]

Cabal d'aigua extret durant la prova de bombeig.

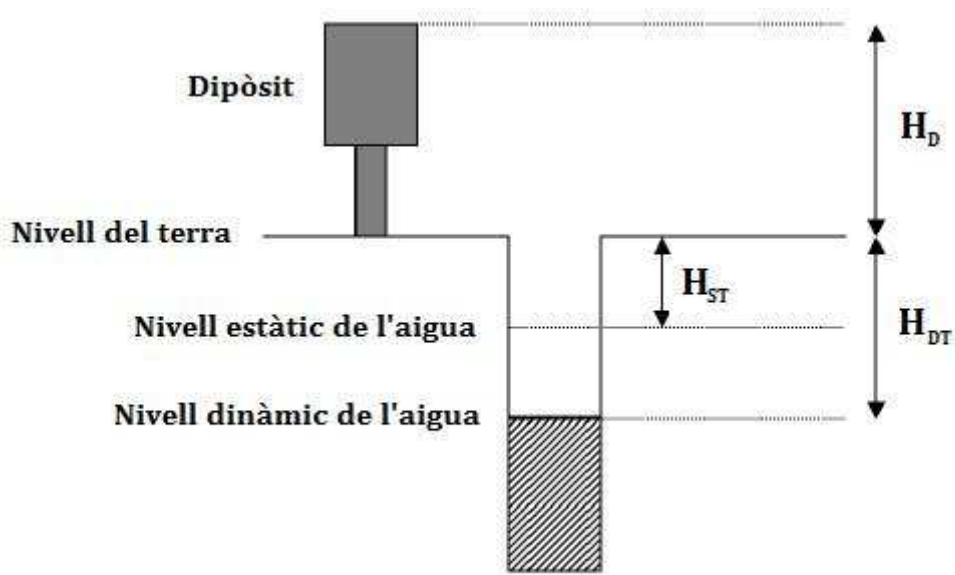


Fig. 6.3. Característiques del pou obtingudes gràcies a la prova de bombeig. [Font: IDAE]



Presentació

És una pestanya destinada a que l'usuari decideixi si durà a terme o no la prova de bombeig. De vegades, per raons determinades no és possible realitzar-la.

Inputs

- Determinar si s'ha dut a terme la prova de bombeig o no (casella de selecció).

Outputs

- No hi ha *outputs*, però l'usuari ha de prémer el botó *SÍ* si s'ha dut a terme la prova o *NO* en cas contrari.

Prova Bombeig

☐ S'ha dut a terme una prova de bombeig?

La prova de bombeig és un experiment que permet determinar el descens del nivell d'aigua d'un pou a l'extreure un determinat cabal de prova.

SÍ

NO

Tornar a Ruta

Marcar o no la casella depenent si es fa la prova de bombeig i prémer SÍ o NO

Fig 6.4. Pestanya Prova Bombeig.



6.5.5. PB_SÍ

Únicament s'hi accedeix en cas que sí que s'hagi realitzat la prova de bombeig.

Presentació

Pestanya simple amb un dibuix idèntic a la Fig. 6.1 per tal d'ajudar l'usuari a introduir els valors correctes.

Inputs

- Introduir mes de realització de la prova (llista de valors).
- Altura dipòsit: H_D [m] (valor a introduir).
- Nivell estàtic de l'aigua: H_{ST} [m] (valor a introduir).
- Nivell dinàmic de l'aigua: H_{DT} [m] (valor a introduir).
- Cabal de prova: Q_T [m³/h] (valor a introduir).

Outputs

- Càrrega Dinàmica Total [m].

Càlculs

- Càrrega Dinàmica Total [m] (Eq. 6.6).

$$H_T = H_D + H_{ST} + \left(\frac{H_{DT} - H_{ST}}{Q_T} \right) + H_f \quad (6.6)$$

On H_f són pèrdues lineals i singulars que provenen de *Canonades* (apartat 6.5.7).



Mes de realització de la prova Juny ▼

Prova Bombeig realitzada

Introdueix els següents valors	
Altura dipòsit [m]	H _D 10
Cabal de prova [m³/h]	Q _k 5
Nivell estàtic [m]	H _{ST} 5
Nivell dinàmic [m]	H _{DT} 5,2

Resultat	
Càrrega Dinàmica Total [m]	16,24

Decidir mes de la realizació de la prova i omplir les caselles marcades en groc amb les dades de la **prova de bombeig**

Tornar a Ruta Canònades

Fig 6.5. Pestanya PB_SÍ.



6.5.6. PB_NO

Solament s'omple la pestanya en cas que la prova de bombeig no es dugui a terme.

Presentació

Pestanya simple amb un dibuix idèntic a la Fig. 5.4 per tal d'ajudar l'usuari a introduir els valors correctes.

Inputs

- Altura de descàrrega [m] (valor a introduir).
- Nivell estàtic [m] (valor a introduir).
- Abatiment [m] (valor a introduir).

Outputs

- Càrrega Estàtica [m].

Càlculs

- Càrrega Estàtica [m].

Suma dels 3 *inputs* de la pestanya.



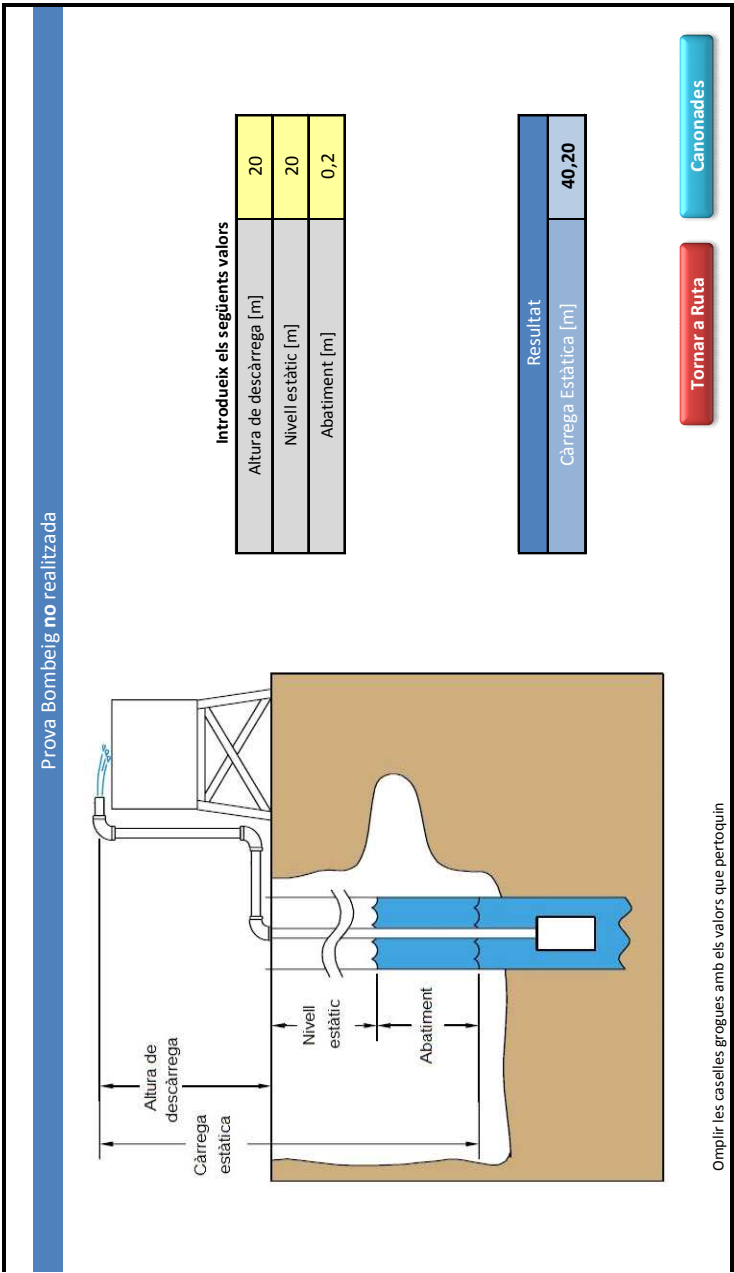


Fig 6.6. Pestanya PB_NO.



6.5.7. Canonades

Un dels fets diferencials d'aquest projecte respecte d'altres eines de dimensionament de sistemes de bombeig FV, és la inclusió d'un petit estudi de les pèrdues en canonades. Si bé molts softwares les aproximen de forma adequada, el present projecte les estudia amb una mica més de profunditat.

L'elecció dels diàmetres de les canonades és una decisió tècnico – econòmica, essent aconsellable que les pèrdues de càrrega no siguin excessivament elevades a fi d'evitar una important despesa d'energia.

La velocitat del fluid és important per la economia i durada del sistema d'impulsió.

- Velocitats inferiors a 0,5 m/s originen normalment sedimentacions.
- Velocitats superiors a 3 m/s poden originar abrasions.

Presentació

Pestanya dividida en dues bandes. La superior, on s'hi introdueixen dades per acabar calculant pèrdues lineals; i la inferior, on s'hi introdueixen el nombre i tipus de singularitats existents en el circuit hidràulic.

Inputs

- Enfocament temporal (llista de valors).
- Material canonada (llista de valors).
- Diàmetre interior [mm] (valor a introduir).
- Longitud total de canonada [m] (valor a introduir).
- Nombre de singularitats per cada tipus (botons de nombre).



Outputs

- Règim del flux.
- Càrrega Dinàmica Total [m].

Càlculs

Primer que tot, l'eina dóna informació sobre el rang de diàmetres recomanables que ha de tenir la canonada, mitjançant les equacions (Eq. 6.7) i (Eq. 6.8).

$$D_{\min} [mm] = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\max} [\frac{m^3}{s}]}{\pi \cdot V_{\max} [\frac{m}{s}]} \cdot 1000} \quad (6.7)$$

$$D_{\max} [mm] = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\max} [\frac{m^3}{s}]}{\pi \cdot V_{\min} [\frac{m}{s}]} \cdot 1000} \quad (6.8)$$

D_{\min} = diàmetre mínim que ha de tenir la canonada [mm].

D_{\max} = diàmetre mínim que ha de tenir la canonada.

Q_{\max} = cabal màxim instantani suposat en tot el període de l'enfocament escollit [m^3/s].

V_{\max} = velocitat màxima de canonada. En aquest projecte és de 3 m/s.

V_{\min} = velocitat mínima de canonada. En aquest projecte és de 0,5 m/s.

$$D_{\min} \leq D \leq D_{\max} \quad (6.9)$$

Existeixen catàlegs amb valors tabulats, normalment les unitats dels diàmetres de les canonades es donen en polzades. Un cop l'usuari, aconsellat per l'eina, posa el diàmetre (Eq. 6.9) que tindrà la seva canonada ja es pot calcular el règim del flux.



- Règim del flux.

Calculant el *nombre de Reynolds*, que és un número adimensional utilitzat per caracteritzar el moviment d'un fluid.

$$Re = \frac{4 \cdot Q_{m\grave{a}x}}{\pi \cdot D \cdot \nu} \cdot 1000 \quad (6.10)$$

ν = viscositat cinemàtica del fluid [m^2/s] (Eq. 6.11).

$$\nu \left[\frac{m^2}{s} \right] = \frac{\mu \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]}{\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]} \quad (6.11)$$

μ = viscositat dinàmica del fluid [$kg/m \cdot s$].

ρ = densitat del fluid [kg/m^3].

- | | | |
|-------------------------------|---|-------------------|
| ▪ Si $Re < 2000$ | → | FLUX LAMINAR |
| ▪ Si $2000 \leq Re \leq 3000$ | → | ZONA DE TRANSICIÓ |
| ▪ Si $Re > 3000$ | → | FLUX TURBULENT |

Per aplicar les equacions pertinents en els càlculs de pèrdues lineals i singulars, el flux del fluid cal que sigui de règim Turbulent. Si no fos així, l'eina mostra un missatge d'avís per tal que es facin els canvis pertinents (com canviar el diàmetre de la canonada per exemple).



- Càrrega Dinàmica Total [m].

- **Sí** s'ha fet prova de bombeig.

És directament la Càrrega Dinàmica Total calculada en la Eq. 6.6 de la pestanya *PB_SÍ*.

Això no priva de realitzar l'estudi de canonades, ja que la suma de pèrdues lineals i singulars s'envia directament com a variable H_f a *PB_SÍ* (Eq. 6.6).

- **No** s'ha fet prova de bombeig.

$$C. \text{Dinàmica Total} = \text{Càrrega Estàtica} + \text{Càrrega Dinàmica} \quad (6.12)$$

Càrrega Estàtica [m]. Prové del valor trobat en *PB_NO*.

Càrrega Dinàmica [m]. Càlculs detallats en l'**Annex B**.



Canonades

Enfocament Temporal

Anual

Flux

TURBULENT

Diametre aconsellat de canonada [mm]

entre 23,4 i 57,3

Material

PVC

Rugositat (ε)

0,007

RESULTATS

Càrrega Estàtica [m]

40,20

Càrrega Dinàmica [m]

1,17

Pèrdues lineals [m]

0,39

Pèrdues singulars [m]

0,78

Càrrega Dinàmica Total [m]

41,37

Longitud canonada (L₁ + L₂ + L₃) [m]

20

Diametre interior [mm]

45

V_{fluid} [m/s]

0,81

SINGULARITATS

Valv. esfèrica

1

Valv. angle recte

1

Valv. seguretat

1

Valv. retenció

0

Valv. comporta

0

(3/4)

0

(1/2)

0

(1/4)

0

Valv. papallona

1

Connexió T

1

Colze 90° radi curt

0

90° normal

4

Colze 90° radi gran

0

Colze 45°

0

Escollir enfoc temporal, Introduir diàmetre, longitud, material i singularitats de les canonades que conformen el circuit hidràulic

Tornar a Ruta

Bomba

Fig 6.7. Pestanya Canonades.

6.5.8. Bomba

Els objectius d'aquesta pestanya són compilar bona part de la informació relativa al sistema processada fins el moment, i donar una petita ajuda en l'elecció d'una bomba que s'adeqüi a les necessitats requerides.

Presentació

Es divideix en dues zones.

- Superior.

La superior informa sobre cabal i altura que ha d'entregar el sistema dissenyat i sobre el cicle hidràulic, l'usuari ha d'introduir un valor relacionat amb eficiència del sistema i també hi ha 7 bombes disponibles.

De les 7 bombes disponibles, les que estan marcades amb un senyal d'aprovació de color verd són les que s'aconsellen en el sistema que s'està tractant. Les marcades amb una creu vermella no poden subministrar els requeriments donats.

Prement sobre els noms d'aquestes bombes, s'enllaça directament a una pestanya on apareixen les corbes característiques de la bomba. Gràcies a això, l'usuari es pot assegurar de que la bomba li convé, ja que el senyal d'aprovació verd únicament és una recomanació o ajuda.

- Inferior.

La part inferior mostra informació sobre potències i energies del sistema fins el moment. També s'hi ha d'introduir característiques del motor prement un enllaç.

Inputs

- Eficiència Motobomba escollida η_{mb} [%] (valor a introduir).
- Característiques Motor (prement enllaç, valors a introduir).



Outputs

- Cabal màxim instantani de tot el període d'enfocament escollit Q_{\max} [m^3/h].
- Altura de bombeig global o Càrrega Dinàmica Total, H_{CDT} [m].
- Cicle hidràulic [m^4].
- Quin sistema d'extracció és més viable segons el *cicle hidràulic*.
- Quines són les bombes recomanades pel sistema (marca d'aprovació verda).

Particularitats bombes de l'eina

Extretes del catàleg SQFlex de la casa GRUNDFOS, pel fet de ser internacionalment reconegudes i fiables. Contenen un elèctrode de nivell per protegir-les del funcionament en sec. La bomba ha d'estar completament submergida en el líquid a bombejar.

- Potència entregada per la bomba P_{hidr} [W].
- Energia hidràulica E_{hidr} [Wh/dia].
- Potència consumida per la motobomba P_e [W].
- Energia consumida per la motobomba E_e [Wh/dia].

Càlculs

- Cicle Hidràulic [m^4]. Producte del cabal màxim instantani i la CDT.
 - Si Cicle Hidràulic < 50 → BOMBEIG MANUAL
 - Si $50 \leq \text{Cicle Hidràulic} \leq 1500$ → SISTEMA FOTOVOLTAIC
 - Si Cicle Hidràulic > 1500 → SISTEMA EÒLIC O DIESEL



- Bombes recomanades pel sistema.

Les bombes marcades amb el senyal d'aprovació verd són aquelles que són capaces d'entregar el cabal màxim instantani de tot el període d'enfocament escollit i capaces d'entregar la pressió de la CDT.

Convé revisar-ne les corbes característiques com s'ha comentat anteriorment, ja que potser no compleixen les dues coses al mateix temps.

- Potència entregada per la bomba P_{hidr} [W] (Eq. 6.13).

$$P_{hidr} = \rho g Q_{màx} H_{CDT} \quad (6.13)$$

- Energia hidràulica E_{hidr} [Wh/dia] (Eq. 6.14).

$$E_{hidr} \left[\frac{Wh}{dia} \right] = \frac{Q_{màx} \left[\frac{m^3}{dia} \right] \cdot H_{CDT} \cdot 1000}{367} \quad (6.14)$$

- Potència consumida per la motobomba P_e [W] (Eq. 6.15).

$$P_e = \frac{P_{hidr}}{\eta_{mb}} \quad (6.15)$$

- Energia consumida per la motobomba E_e [Wh/dia] (Eq. 6.16).

$$E_e = \frac{E_{hidr}}{\eta_{mb}} \quad (6.16)$$



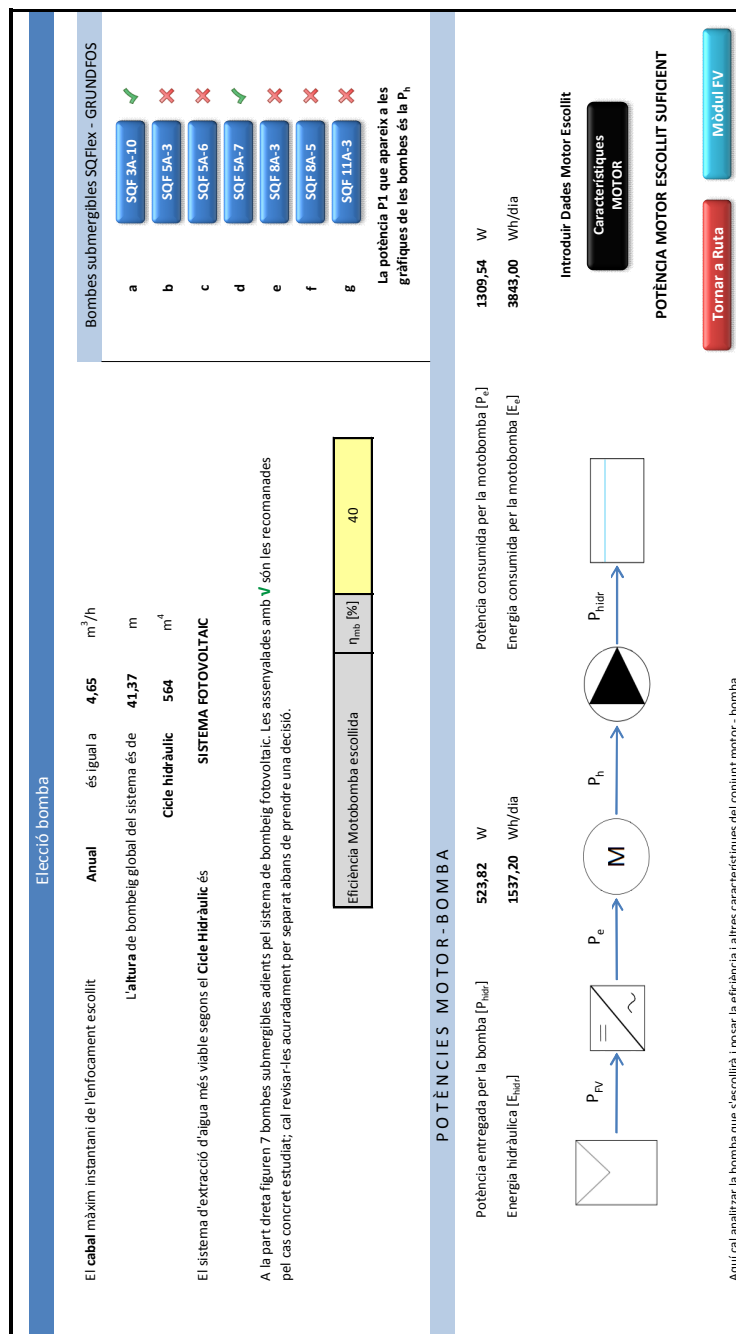


Fig 6.8. Pestanya Bomba.



6.5.9. Mòdul FV

És l'última pestanya del procés de dimensionament. En ella s'hi introdueixen valors característics del mòdul fotovoltaic a utilitzar, i se n'obté una solució en forma de nombre de panells en sèrie i/o paral·lel a muntar per tenir el generador FV final.

Presentació

Es tracta d'una pestanya on l'usuari introdueix valors relacionats amb el mòdul i les pèrdues fotovoltaïques. Un dibuix ajuda a entendre els diferents valors relacionats amb l'associació dels mòduls FV.

Inputs

- Característiques Mòdul FV
 - Potència nominal P_N [W] (valor a introduir).
 - Tensió amb potència nominal V_N [V] (valor a introduir).
 - Corrent amb potència nominal I_N [A] (valor a introduir).
 - Temperatura Operativa Nominal de les Cèl·lules (TONC [°C]) (valor a introduir).
- Pèrdues Fotovoltaïques
 - Rendiment inversor.
 - Connexions.
 - Pols i brutícia.
 - Angulars i espectrals.



- Òhmiques DC.
- No compliment de SPMP.
- Ombrejat.
- Òhmiques AC.
- Altres

Totes les pèrdues s'introdueixen amb caselles de nombre, i el seu valor és en tant per cent.

Outputs

- Número de branques en paral·lel (N_{PM}).
- Número de mòduls en sèrie per branca (N_{SM}).
- Número Total de Mòduls (N_M).

Càlculs

- Número de branques en paral·lel (N_{PM}).

$$N_{PM} = \text{Enter}_{inf} \left[\frac{I_{Nm}}{I_N^M} \right] \quad (6.17)$$

I_{Nm} = intensitat nominal del motor [A].

I_N^M = intensitat nominal del mòdul FV [A].

- Número de mòduls en sèrie per branca (N_{SM}).

Primer es calcula la Potència Pic del generador (Eq. 6.18).



$$P_P = \frac{E_{\text{hydr}} \cdot G^*}{\eta_{\text{mb}} \cdot L_{\text{FV}} \cdot (1 - \delta \cdot (T_c - T_c^*)) \cdot \text{HSP}} \quad (6.18)$$

G^* = irradiància de referència (1 kW/m²).

L_{FV} = producte de les pèrdues fotovoltaïques (en tant per u).

δ = coeficient de variació de la potència amb la temperatura de les cèl·lules (des de 0,004 fins 0,005 [°C⁻¹]).

T_c = temperatura mitjana diària dels mòduls durant les hores de Sol (Eq. 6.19) [°C].

T_c^* = temperatura de la cèl·lula FV en condicions estàndard STC [°C].

$$T_c = T_a + \frac{T_{\text{ONC}} - 20}{800} \cdot G \quad (6.19)$$

T_a = temperatura ambient [°C].

Un cop es té la aquesta Potència Pic del generador, ja es poden saber els mòduls connectats en sèrie de cada branca en paral·lel mitjançant la equació (Eq. 6.20).

$$N_{SM} = \left[\frac{P_P}{P_N^M \cdot N_{PM}} \right] \quad (6.20)$$

- Número Total de Mòduls (N_M).

$$N_M = N_{PM} \cdot N_{SM} \quad (6.21)$$



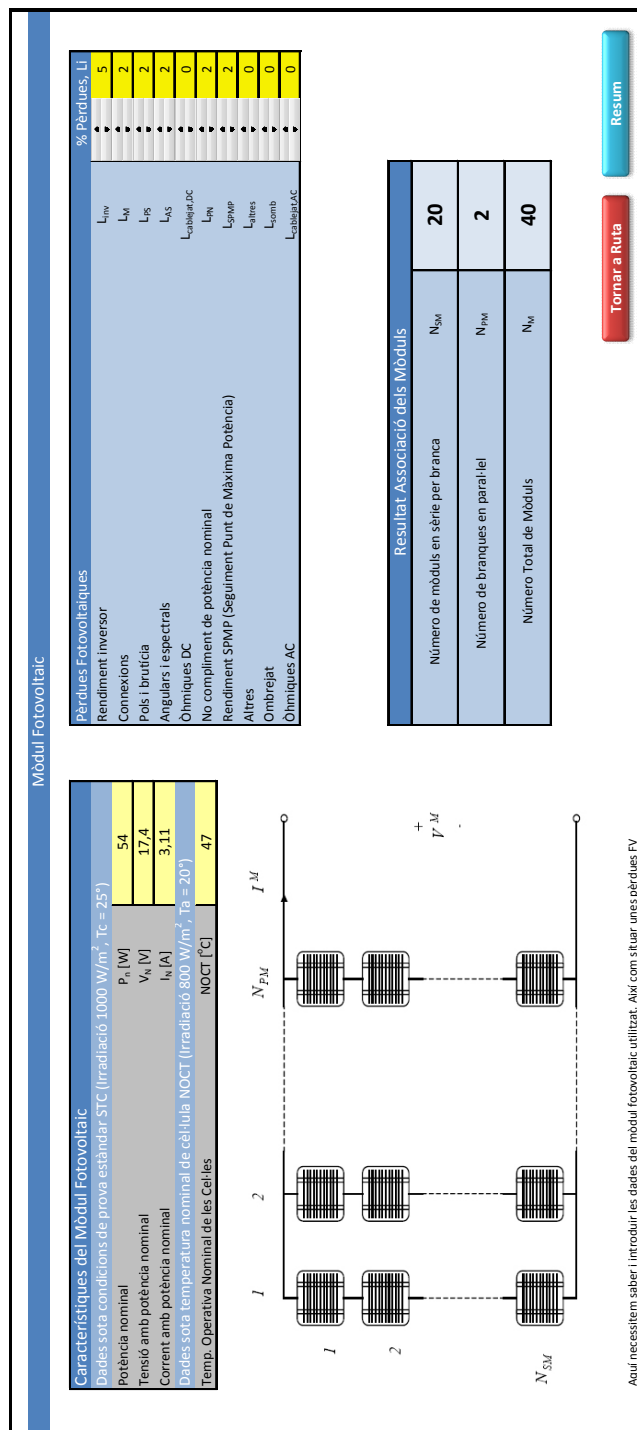


Fig 6.9. Pestanya Mòdul FV.

6.5.10. Resum

És la pestanya que engloba tots els resultats.

A més d'haver-hi resultats numèrics també hi ha gràfiques entenedores.

6.5.11. Dades Mestres

Conté totes les bases de dades i valors de referència utilitzats al llarg de tota l'eina.

És una pestanya on l'usuari no hi hauria d'accedir mai, a excepció de fer canvis o ampliar els valors o bases de dades en qüestió.

L'únic qui pot modificar aquestes dades és l'*Administrador* de l'eina.





7. Estudi econòmic

L'estudi econòmic de la realització del projecte es divideix en dues parts:

- Cost Total Treball Enginyer.

És el cost dels recursos humans implicats en la realització del projecte. S'estimen 35 € per hora treballada com a sou brut.

- Cost Material.

Cost dels fungibles, copisteria i llicències del *software* utilitzat.

Tasca	Cost horari [€/h]	Hores [h]	Cost total [€]
Recerca bibliogràfica	35,00	30	1050,00
Estudi funcionalitat dels elements	35,00	80	2800,00
Determinació dels objectius	35,00	30	1050,00
Recerca/anàlisi equacions i lleis que regeixen el sistema	35,00	60	2100,00
Confecció eina de dimensionament	35,00	240	8400,00
Elaboració de memòria i annexos	35,00	150	5250,00
Cost Total Treball Enginyer			20650,00

Taula. 7.1. Cost Total del Treball de Enginyer, desglossat en tasques.



Concepte	Cost [€]
Llicència Microsoft Office	42,50
Ús PC portàtil	88,00
Copisteria, fungibles	200,00
Cost Material	330,50

Taula. 7.2. Cost Material del projecte, desglossat adequadament.

En total, el cost econòmic total del projecte és de **20.980,50 €**

Càlculs auxiliars

Per la taula de costos associats al treball de l'enginyer (Taula 7.1), se separen les diferents tasques realitzades i el temps de durada en hores de cadascuna d'elles.

Per la taula de costos materials (Taula 7.2), es calcula el cost aproximat en fungibles i copisteria com són bolígrafs, paper, impressions i fotocòpies. A més, per calcular els conceptes de llicència del *Microsoft Office* i l'ús del PC portàtil s'han realitzat les següents estimacions:

- Llicència *Microsoft Office*.

Preu llicència (*Office Hogar y Estudiantes 2010*): 139,00 €

Estimant vida útil de 3 anys i projecte d'11 mesos de durada: 42,50 €

- Ús PC portàtil.

Preu del PC portàtil: 895,00 €

Estimant vida útil de 6000 hores i projecte realitzat en 590 hores: 88,00 €



Diagrama Gantt

Per finalitzar l'apartat de l'estudi econòmic, s'ha elaborat un *Diagrama de Gantt* (Fig. 7.1) per tal de mostrar el temps de dedicació aproximat utilitzat en dur a terme cadascuna de les tasques del projecte.

Les hores que figuren en la Taula 7.1 s'han obtingut amb l'ajuda d'aquest diagrama.

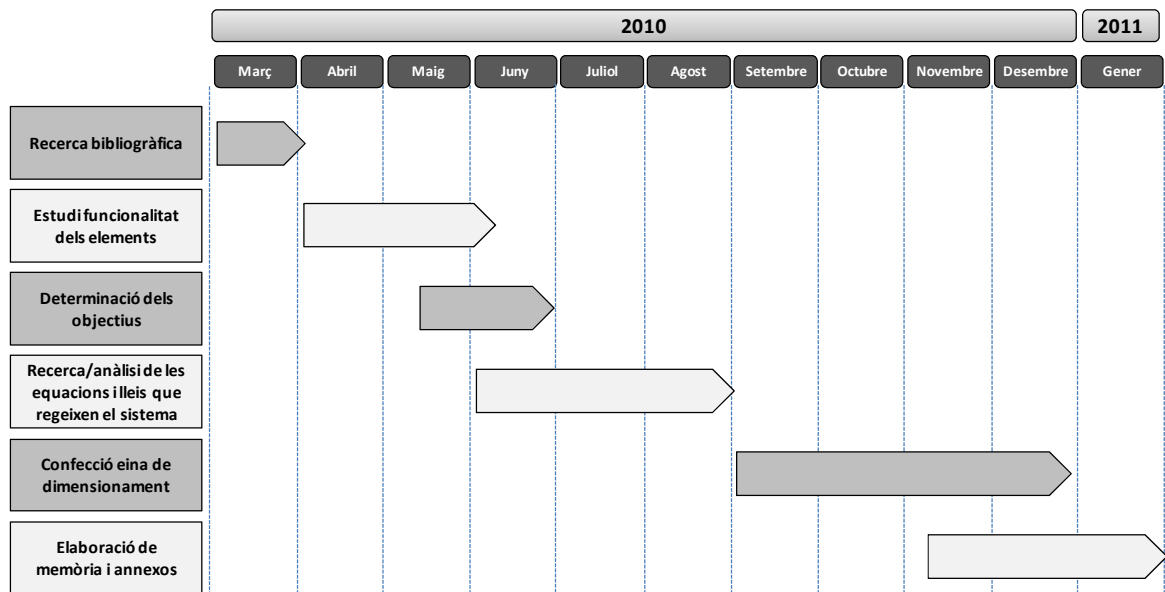


Fig. 7.1. Diagrama de Gantt d'elaboració del projecte.





8. Impacte mediambiental

Reducció d'emissions de CO₂

La instal·lació de tot el potencial de teulades fotovoltaïques a Espanya estalviaria al voltant de 17,5 milions de tones de CO₂ [9].

Els sistemes fotovoltaïcs contribueixen a complir els objectius de reducció de CO₂ marcats per la comunitat internacional en el Protocol de Kyoto sobre el canvi climàtic.

El CO₂ és el principal responsable del increment de l'efecte hivernacle que pot conduir a conseqüències nefastes en el canvi climàtic global.

Comparant-ho amb un sistema diesel (grup electrogen), un sistema FV estalvia 1 kg de CO₂ per kWh produït (en instal·lacions de bombeig FV com la de l'eina del present projecte es produeixen entre 0,5 i 10 kWh diaris aproximadament).

Reducció sonoritat

Probablement, el disseny d'instal·lacions de bombeig amb energia fotovoltaïca és la forma més silenciosa d'aconseguir electricitat.

Tant en instal·lacions fotovoltaïques, com en aerogeneradors i grups electrògens, la bomba se situa totalment submergida a l'aigua. Aquest no és un fet diferencial i, a més, es pot menystenir.

En canvi, no fa el mateix soroll una placa fotovoltaïca, que un aerogenerador o un grup electrogen [10] (Taula 8.1).



Dispositiu	dB (a 10 metres de distància)
Mòdul FV	45
Aerogenerador	100
Grup electrogen	80

Taula. 8.1. Taula de decibels que generen els dispositius en funcionament.
Amb l'observador a uns 10 metres de distància d'aquests.

Pel fet de que el projecte se situa en indrets aïllats, per l'humà no és un greu problema. Amb tot i així, de ben segur que la fauna ho pot notar fortament.

Impacte visual

La moda de la integració de mòduls FV en edificis, on aquests poden entrar a formar part com a elements constructius, servint sovint de coberta exterior i reduint costos de construcció, està augmentant. A més, són potencialment atractius per la arquitectura.

Si es parla de mòduls en zones aïllades, una correcta distribució d'aquests pot fer inalterable el paisatge.

Comparant-ho amb els aerogeneradors, i en el marc del impacte visual que provoquen, els generadors FV són sempre millor acceptats pels usuaris de les zones on aquests s'instal·len. A més, any rere any moltes aus moren per culpa d'impactes de les pales d'aerogeneradors.



Conclusions

L'eina de dimensionament elaborada aglutina tots els factors que intervenen en un sistema de bombeig fotovoltaic i dona unes solucions òptimes a l'usuari que la utilitzi.

En quant a manipulació de l'eina, la senzillesa i rapidesa en són els valors més importants, si bé és millorable la claredat en la presentació de dades.

D'altra banda, analitzant les diferents metodologies per aconseguir els resultats, l'estudi detallat de les pèrdues en canonades és innovador, donat que el software existent en eines similars no l'inclou.

L'abast de l'eina és millorable, ja que tot i permetre entrades de consum quantitativament importants, els càlculs posteriors no són capaços de suportar aquestes altes demandes. Això podria ser solucionat amb la possibilitat d'incorporar més d'una bomba per l'extracció d'aigua.

A més, si el sistema té un cicle hidràulic massa gran, les opcions d'obtenció d'energia gràcies al vent o al combustible diesel en forma de grups electrògens són més rentables. Si es volgués ampliar l'eina aquest seria un bon punt per on començar.





Agraïments

A Daniel Montesinos Miracle, per proporcionar-me grans ajudes en forma de documents bibliogràfics així com una ràpida resposta a qualsevol consulta. També per fer un seguiment del projecte que ha permès que aquest tingui més valor i claredat.





Bibliografia

8.1. Referències bibliogràfiques

- [1] ALONSO ABELLA, M. *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid, SAPT Publicaciones Técnicas, 2005, p. 100.
- [2] INSTITUTO DE ELECTROTÉCNICA E ENERGIA. UNIVERSIDADE DE SAO PAULO. *Procedimento para averiguação operacional de sistemas fotovoltaicos de bombeamento*. Sao Paulo, Laboratorio de Sistemas Fotovoltaicos.
- [3] CASTRO GIL, M., COLMENAR SANTOS, A., PÉREZ GARCÍA, M. [et al.]. *Sistemas de Bombeo Eólicos y Fotovoltaicos*. Sevilla, PROGENSA, 2003, p. 12.
- [4] SANDIA NATIONAL LABORATORIES. *Guía Energía Fotovoltaica*. New Mexico, 2002, p. 34.
- [5] BRITO, A.U., FEDRIZZI, M.C., ZILLES, R. *PV Pumping Systems: A Useful Tool to Check Operational Performance*. Progr. Photovolt: Res. Appl. 2007, 15:41 – 49.
- [6] ALONSO ABELLA, M. *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid, SAPT Publicaciones Técnicas, 2005, p. 333.
- [7] ALONSO ABELLA, M. *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid, SAPT Publicaciones Técnicas, 2005, p. 331.
- [8] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. Madrid, 2009, p. 29.
- [9] ALONSO ABELLA, M. *Sistemas Fotovoltaicos*. Madrid, SAPT Publicaciones Técnicas, 2005, p. 283.
- [10] GRUPO PRAMAC. *¿Qué es un Grupo Electrónico?* Madrid.
[<http://www.rmsl.es/Web/generadores/elegirgrupo.pdf>, 21 de gener de 2011]



- [11] RICO AMORÓS, A.M. *Tipologías de consumo de aguas en abastecimientos urbano – turísticos de la Comunidad Valenciana*. Alicante, Instituto Universitario de Geografía, 2006, p. 26 – 29.
- [12] SÁNCHEZ, J. *Metabolismo y uso del agua*. Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica.
[<http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/Agua.%202010.pdf>, 28 de novembre del 2010].
- [13] AGUIRRE, A. *Determinación de la dotación de agua*.
[<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/flujoentuberias/dotacionagua/determinaciondeladotaciondeagua.html>, 28 de novembre del 2010].

8.2. Bibliografia complementària

- GILLOT, C. *Sistema de Bombeo de Agua Subterránea Mediante Energía Solar*. Barcelona, ETSEIB, 2009, p. 14 – 18.
- HADI, H. *Photovoltaic Water Pump System*. Kochi University of Technology, Japan, 2003, p. 27.
- HANSEN, A.D. [et al.]. *Models for a Stand-Alone PV System*. Technical Report, Riso National Laboratory, Roskilde, 2000, p. 12.



ANNEX A.

Estacionalitat dels consums d'aigua.

Estacionalitat

Definició: l'estacionalitat aplicada al cas del bombeig hidràulic, és la concentració de la demanda d'aigua, de manera desproporcionada, en certs períodes de l'any.

En la pestanya de *Consum* de l'eina de dimensionament, si l'usuari no prem la casella de consum d'aigua diari fixat i constant al llarg de l'any, ha d'omplir la taula d'elements de consum dividida en ciutat/poble, granja i conreus. Cada element està dotat d'un *coeficient d'estacionalitat*. Per exemple, està clar que no es consumeix la mateixa aigua en una escola en època d'hivern, que a l'estiu.

A continuació es detallen els elements del full de càlcul amb el coeficient d'estacionalitat que duen implícitament i els motius i càlculs pertinents.

- Consum domèstic / Hospital / Alberg / Oficina / Restaurant: tenen coeficient d'estacionalitat mensual. Els coeficients mensuals s'han extret del consum d'aigua per allotjament permanent en comunitats de propietaris de Benidorm [11].
- Guarderia/Escola: ambdós elements tenen un coeficient d'estacionalitat fortament discriminatori en els mesos de juliol (0,2) i agost (0,1). Això significa que es preveu uns consums del 20% i el 10% del que és consum mensual habitual.
- Grangers: idèntica aplicació d'estacionalitat que pel consum domèstic.
- Animals de granja: a tots els animals de granja se'ls aplica uns coeficients d'estacionalitat a cada mes. S'han extret a partir de varis informes [12].
- Conreus: tots tenen un coeficient d'estacionalitat. Els coeficients d'estacionalitat per defecte dels conreus són extrets després de consultar varis informes [13].

Per defecte, el full de càlcul conté les següents estacionalitats de la Taula A.1.:



Mes\Element	Domèstic	Guarderia/ escola	Animals	Cotó	Hortet 20x20	Blat de moro	Cítrics	Resta
Gener	0,67	1	0,7	0	1	0	0,8	1
Febrer	0,70	1	0,8	0	1	0	0,8	1
Març	0,77	1	0,9	0	1	0	0,8	1
Abril	0,97	1	1	0	1,1	0,9	0,8	1
Maig	0,96	1	1,1	0	1,2	1,1	1	1
Juny	0,89	1	1,2	0,9	1,25	1,2	1,1	1
Juliol	1,27	0,2	1,3	1,1	1,3	1,1	1	1
Agost	1,63	0,1	1,2	1,1	1,25	0,9	1	1
Setembre	1,59	1	1,1	0,9	1,2	0	1	1
Octubre	1,01	1	1	0	1,1	0	0,8	1
Novembre	0,83	1	0,9	0	1	0	0,8	1
Desembre	0,71	1	0,8	0	1	0	0,8	1

Taula. A.1. Taula d'estacionalitats per defecte aplicades en l'eina de dimensionament.

Els coeficients d'estacionalitat sovint són subjectius. És per això que l'*Administrador* del full de càlcul pot canviar-los sempre que ho consideri oportú. Els canvis es veuran reflectits automàticament en tots els resultats de l'eina de dimensionament.

En alguns tipus de plantació l'usuari pot fer una planificació especial segons el seu propi cas. Ja que, per exemple en el cas de l'oliva, l'arbre necessita varis anys per obtenir uns fruits bons. I precisa diferents consums d'aigua al llarg d'aquests anys.

Com a últim incís en quant a l'estacionalitat, i altre cop aplicat sobre els conreus, aquesta depèn directament de la existència o no de pluges d'una determinada zona combinat amb la evapotranspiració de la planta a cultivar. Això no es té en compte en el disseny per defecte donat que es considera més important l'eina en sí que entrar en aquests càlculs que sempre es podran realitzar i, posteriorment, adherir-ne els coeficients per part de l'*Administrador*.



ANNEX B.

Càrrega Dinàmica en canonades de l'eina.

En l'apartat 5.2.3 del present projecte referent a demandes de pressió, s'explica que la càrrega dinàmica de les canonades depèn d'aquests cinc factors:

- Longitud canonada.
- Diàmetre interior canonada.
- Velocitat flux.
- Rugositat relativa de la paret de la canonada (material).
- Viscositat cinemàtica del líquid.

Hi haurà a continuació càlculs més o menys complexos per trobar paràmetres relacionats amb aquests factors.

La Càrrega Dinàmica en canonades és la suma de les pèrdues lineals i de les pèrdues singulars. Tot seguit s'estudia la forma d'aconseguir ambdós valors.

Pèrdues lineals

$$\Delta h_L = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{B.1})$$

λ = coeficient de fricció.

L, D = longitud, diàmetre de la canonada [m].

V = velocitat del fluid dins la canonada.

g = gravetat ($9,81 \text{ m/s}^2$).



La variable de l'equació (Eq. B.1) més complicada de determinar és el coeficient de fricció.

Pel cas de flux laminar, és igual a $64/Re$, essent Re el número de Reynolds.

Pel cas del flux turbulent, que és on sempre s'estarà en l'eina de dimensionament, requereix d'una metodologia una mica més complexa.

Diagrama de Moody

El diagrama de Moody és una gràfica que serveix per determinar el coeficient de fricció. Per utilitzar-la, es necessita conèixer:

- Número de Reynolds (Re).
- Rugositat del material de què consta la canonada (ϵ).
- Rugositat relativa d'aquesta (ϵ/D).

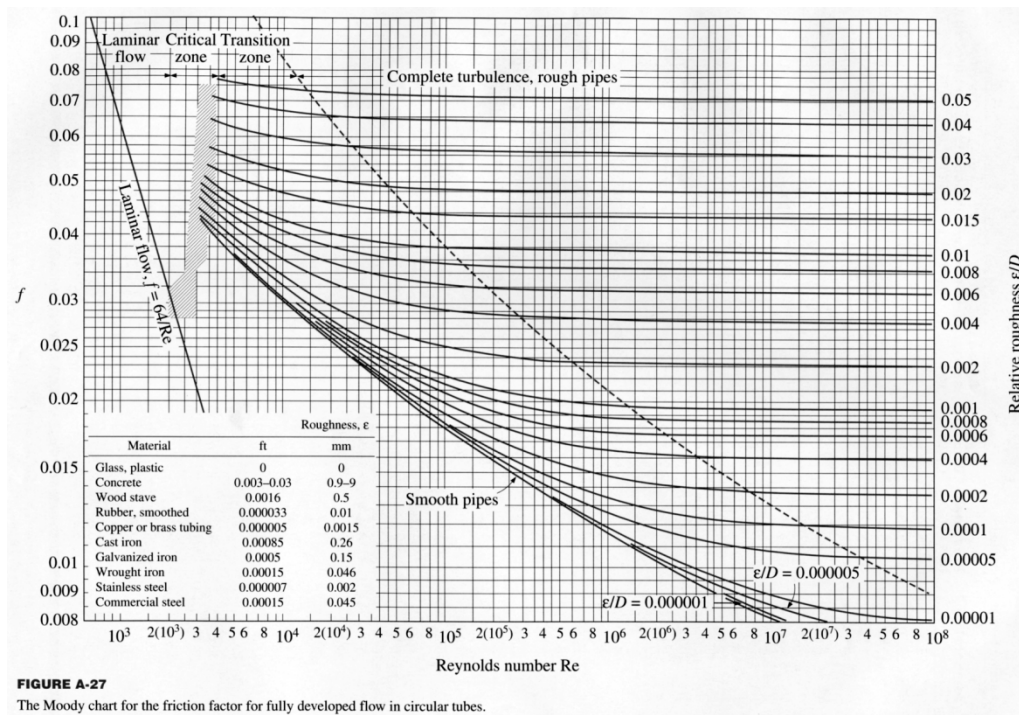


Fig. B.1. Diagrama de Moody.



Fixant el Re per l'eix de les abscisses, cal anar a trobar la línia que ve de l'eix d'ordenades de la part dreta, que és la rugositat relativa.

Allà on hi hagi el creuament, es tira una línia imaginària fins arribar a l'eix d'ordenades de l'esquerra, i ja tenim el valor del coeficient de fricció.

Mètode utilitzat en l'eina

En l'eina de dimensionament s'ha generat una taula en la qual, introduint uns quants números Re i unes quantes rugositats relatives, s'introdueixen els valors del coeficient de fricció que pertorqui.

D'aquesta manera, únicament calculant el Re i la rugositat relativa, ja es pot tenir el coeficient de fricció.

Materials de l'eina

En l'eina de dimensionament confeccionada, hi ha la possibilitat d'escollir entre quatre diferents materials de canonada. L'*Administrador* de l'eina pot afegir-ne més, tot i que els presentats en les següents taules són els més populars i efectius.

Material	Rugositat (ϵ [mm])
PVC	0,007
Acer laminat	0,05
Ferro galvanitzat	0,15
Coure	0,001

Taula. B.1. Rugositats dels materials predefinits en l'eina.



MATERIAL	AVANTATGES	INCONVENIENTS
PVC	Canonada rígida i lleugera Aïllant tèrmicament Múltiples complements/diàmetres Instal·lació ràpida Es talla fàcilment Molt llisa Ni corrosiu, ni oxidable	No suporta alta T ^a Baixa T ^a del líquid la fa fràgil
Acer Laminat	Grans propietats mecàniques Fàcilment soldables Mal·leable Llarga vida útil No corrosiu	Costós
Ferro galvanitzat	Llarga vida útil Bones propietats mecàniques No corrosiu	Relativament costós Díficil de treballar degut al pes Tendència a l'obstrucció
Coure	Molt llisa Lleuger i elàstic Llarga vida útil Bones propietats mecàniques Instal·lació ràpida No corrosiu, ni oxidable	Es dilata fàcilment Conductivitat tèrmica Díficil de tallar

Taula. B.2. Taula comparativa entre els diferents materials de canonada que s'utilitzen pel transport d'aigua.



Amb un cop d'ull a la Taula B.2 s'entén ràpidament que els dos materials de canonada que més es fan servir pel bombeig d'aigua a petita escala són el plàstic PVC i el coure.

Pèrdues singulars

$$\Delta h_s = K_s \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B.2})$$

K_s = coeficient de pèrdues singulars.

Element de canonada	K_s
Vàlvula esfèrica	10
Vàlvula en angle recte	5
Vàlvula de seguretat	2,5
Vàlvula de retenció	2
Vàlvula de comporta	0,2
Vàlvula de comporta (3/4)	1,15
Vàlvula de comporta (1/2)	5,6
Vàlvula de comporta (1/4)	24
Vàlvula de papallona	1
T per sortida lateral	1,8
Colze 90° radi curt	0,9
Colze 90° radi normal	0,75
Colze 90° radi gran	0,6
Colze 45°	0,42

Taula. B.3. Taula dels coeficients de pèrdues singulars aplicats als diferents elements de les canonades.





ANNEX C.

Llistat resum de metodologia de l'eina.

1. Calcular demanda de consum diària [m^3/dia].
2. Calcular HSP de la zona geogràfica [$\text{kWh}/\text{m}^2=\text{HSP}$].
3. Calcular el règim de bombeig o cabal $[(1)/(2) = \text{m}^3/\text{h}]$.
4. Càrrega Estàtica [m].
5. Recorregut canonades [m].
6. Càrrega Dinàmica [m].
7. Càrrega Dinàmica Total [(Prova Bombeig) o (4)+(6) = m].
8. Eficiència motobomba. Prèvia elecció d'aquesta.
9. Calcular Potència subministrada per la bomba [W].
10. Calcular Energia Hidràulica $\left[\frac{(1) \cdot 1000 \cdot (7)}{367} = \frac{\frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \cdot 1000 \cdot \text{m}}{367} \right]$.
11. Determinar Pèrdues Fotovoltaiques.
12. Calcular Potència Pic del generador $\left[\frac{(10)}{(8) \cdot (11) \cdot (1 - \partial \cdot (T_c - T_c^*)) \cdot (2)} \right]$.
13. Calcular número de branques en paral·lel del generador (N_{PM}).
14. Calcular número de mòduls en sèrie per branca (N_{SM}).
15. Calcular número total de mòduls (N_M).

